

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

№ 2 (89)

2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в октябре 1967 г.

Учредитель и издатель
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Периодичность издания — 2 раза в год

СОДЕРЖАНИЕ

СТРУКТУРНАЯ, ПРИКЛАДНАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА

Широков В.А. Эволюция к универсальный естественный закон (пролегомены к будущей общей теории эволюции). Часть вторая.....	3
---	---

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Stoian Y., Pankratov A., Romanova T. Optimal clustering of polyhedra	19
Гребенник И.В., Литвиненко А.С. Генерация перестановок с четко определенным порядком следования элементов	26
Яковлев С.В., Кривошапкин А.В., Коробчинский К.П. Об одном классе генетических алгоритмов в задачах оптимизации комбинаторных конфигураций	31
Литвин О.М., Литвин О.О., Чорн О.С. Методическая модель просторового розподілу сукупності корисних коп ліній методом мінімізації трьох функцій	37
Сидоров М.В. Застосування конструктивних методів теорії R-функцій для побудови конусного відрізка при чисельній реалізації двобічних ітеративних методів	43
Зверух О.І., Сидоров М.В., Яловег І.Г. Застосування методу R-функцій в методичному моделюванні мінливих систем	50
Литвин О.М., Писічник В.О., Славків О.В. Застосування методу інтерстріп-ції для реструктуризації пошкоджених зображень	56
Литвин О.М., Томашов І.С. Побудова локальних методів трьох системи Рітца з використанням сплайнів 5-го степеня в трикутнику при розв'язанні біггармонічної задачі про згин пластини	61
Литвин О.М., Литвин О.О., Хурдей Є.Л. Про вибір невідомих значень поблизу ної функції в операторі інтерполяції із заданими проекціями	66
Мочур Д.І. Розподілення розриву електростатичного поля плоского конденсатора	72

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ. БАЗЫ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ

Левикін В.М., Член О.В. Концепція втомізованої побудови бази знань у системі процесного управління	77
Горяча В.А., Угрюмов М.Л., Черныш С.В. Информационная технология диагностики состояния пациентов в системах медицинского мониторинга	84
Погорелов А.В., Савинич В.Е., Брюховецкий А.Б., Удовенко С.Г. Вычислительный метод сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях	92
Чумченко Д.И., Гончаренко А.С. Применение интеллектуального мультигенетического подхода к моделированию эпидемического процесса ВИЧ-инфекции	99
Шохвський Н.Б., Кміньський Р.М., Засоб Є.О. Метод пошуку соціативних залежностей у великих даних	106
Тітов К.Ю. Персональний новинний фільтр, створений на основі технологій когнітивних обчислень і семантичної обробки інформації	113
Мінков Н.О., Євдокімов А.А., Мінков В.П., Циганенко І.І. Дизайн фреймворку на базі даних щодо плинності крізь методи Data Mining	119
Нізіров Т.О., Костенко О.Б., Мінков Н.О. Концептуальна модель інформаційної системи в галузі охорони здоров'я	126

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Мінков В.П., Бизюк Е.А., Бизюк А.В. Исследование формальных оценок качества UI/UX с учетом	132
Мкогон О.О., Вовк А.В., Ткаченко В.Ф. Розробка методики оцінювання веб-сайтів за допомогою експерименту	138
Григор'єв О.В., Молчанов Н.О., Григор'єв О.В. Розробка програм-тренерів для усунення дефектів при друці на рушійних машинах	143
Чеканов І.О., Григор'єв А.В. Розробка інформаційної та логістичної системи для поліграфічного підприємства	148
Дмитренко А.І., Супрун О.О., Усольцев О.О. Аналіз моделей об'єктивної оцінки якості передчасних відеопотоків в IP-мережах	158
Омров М.А., Тихон Т.В. Лендінг – його аналіз та моделювання	164
Омров М.А., Цехмистр Р.И., Мурдов В.Х. Использование теории нечетких множеств для создания информационной системы оценивания знаний студентов дистанционной формы обучения для технических специальностей	169
Левий О.Ф., Кульмінський А.К. Використання даних як сервісу з допомогою хмарних технологій	177
Носов Я.В. К вопросу о формализации диагностики обонятельных нарушений	183
Обзор	188
Приведение оформления рукописей для вторичного и научно-технического журналов «Бионик интеллекту»	191
Приклад оформления статей	192



В. А. Широков

Український мовно-інформаційний фонд

Україна, 03039, м. Київ 39, Голосеевський проспект, 3. тел./факс: 380-44 525-8165

e-mail: vshirokov48@gmail.com

ЭВОЛЮЦИЯ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЗАКОН (ПРОЛЕГОМЕНЫ К БУДУЩЕЙ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ). ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Во второй части работы изложены эволюционные спектры человеческого общества, базирующиеся на теории сложности. Приведены теоретические и фактические данные относительно динамики численности населения как эволюционного фактора. Подчеркнуто, что с 80-90 годов прошлого столетия наступил эпохальный вызов: демографического перехода и параметр «численность населения» перестал играть роль эволюционного фактора.

Выполнены анализ эволюционных спектров финансовых этапов Производственного механизма. Предложены меры сложности для данных этапов и показано, что современный этап характеризуется экспоненциальным ростом сложности. Введено понятие паразитной сложности, предложен модель и приведен оценка эффективности построенной модели мировой финансовой системы за период с 1971 по 2016 гг.

Продemonстрировано, что в силу неконтролируемого роста сложности Мир все сильнее скатывается в глобальный кризис, который в силу его онтологического характера не может быть разрешен путем паллиативов. С позиций теории эволюционной сложности проанализированы «доктрины управляемого хаоса», также приведены возможные варианты борьбы с кризисными явлениями. Среди этих вариантов наиболее перспективными вторым предствляются варианты, связанные с управляемой сложностью, научно-техническими инновациями и квантовой информатикой. С позиций теории эволюционной сложности проанализированы гипотезы технологической сингулярности и трансгуманизма.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ, МЕХАНИЗМ ЭВОЛЮЦИИ, СЛОЖНОСТЬ, ОСНОВНОЙ ЗАКОН ЭВОЛЮЦИИ, ДОКТРИНА УПРАВЛЯЕМОГО ХАОСА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ, ТРАНСГУМАНИЗМ, КВАНТОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Volodymyr Shyrokov. EVOLUTION AS UNIVERSAL NATURAL LAW (PROLEGOMENA TO THE FUTURE GENERAL EVOLUTION THEORY). In the second part of the work evolutionary aspects of human society based on the theory of complexity are presented. Theoretical and factual data are presented on population dynamics as an evolutionary factor. It is emphasized that from the 80-90s of the last century the era of the so-called Demographic transition came and the parameter "population size" ceased to play the role of an evolutionary factor.

The evolutionary aspects of the financial stages of the Production Mechanism are analyzed. The complexity measures for these stages are proposed and it is shown that the present stage is characterized by an exponential increase in complexity. The notion of parasitic complexity is introduced, a model is proposed and an estimate of the effectiveness of the world financial system built on the dollar for the period from 1971 to 2016 is given.

It is demonstrated that, due to the uncontrollable growth of complexity, the world is increasingly slipping into a global crisis, which due to its ontological nature can not be resolved by palliatives. From the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the "doctrine of controlled chaos" is analyzed, as well as possible other options for dealing with crisis phenomena. Among these options, the most promising are the options associated with managed complexity, scientific and technological innovation and quantum information. From the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the hypotheses of technological singularity and transhumanism are analyzed.

GENERAL EVOLUTION THEORY, EVOLUTION MECHANISM, COMPLEXITY, BASIC LAW OF EVOLUTION, DOCTRINE OF CONTROLLED CHAOS, TECHNOLOGICAL SINGULARITY, TRANSHUMANISM

Володимир Широков. ЕВОЛЮЦІЯ ЯК УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПРИРОДНИЙ ЗАКОН (ПРОЛЕГОМЕНИ ДО МАЙБУТНЬОЇ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ). У другій частині роботи викладені еволюційні спектри людського суспільства, що базуються на теорії складності. Наведено теоретичні та фактичні дані щодо динаміки чисельності населення як еволюційного чинника. Підкреслено, що з 80-90 років минулого століття настала епоха калізового Демографічного переходу і параметр «чисельність населення» перестав грати роль еволюційного чинника.

Виконано аналіз еволюційних спектрів фінансових етапів Виробничого механізму. Зпропоновано міри складності для даних етапів і показано, що сучасний етап характеризується експоненціальним ростом складності. Введено поняття паразитної складності, запропоновано модель і наведено оцінку ефективності побудованої моделі світової фінансової системи за період з 1971 по 2016 рр.

Продemonстровано, що в силу неконтрольованого зростання складності Світ усе сильніше скочується в глобальну кризу, як в силу її онтологічного характеру не може бути розв'язаний шляхом паліативів. З позицій теорії еволюційної складності проаналізовано «доктрину керованого хаосу», також наведено можливі інші варіанти боротьби з кризовими явищами. Серед цих варіантів найбільш перспективними вторгються варіанти, пов'язані з керованою складністю, науково-технічними інноваціями та квантовою інформатикою. З позицій теорії еволюційної складності проаналізовано гіпотези технологічної сингулярності і трансгуманізму.

ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ, МЕХАНІЗМ ЕВОЛЮЦІЇ, СКЛАДНІСТЬ, ОСНОВНИЙ ЗАКОН ЕВОЛЮЦІЇ, ДОКТРИНА КЕРОВАНОГО ХАОСУ, ТЕХНОЛОГІЧНА СИНГУЛЯРНІСТЬ, ТРАНСГУМАНІЗМ, КВАНТОВА ІНФОРМАЦІЯ

«Автор понимает всю сложность обсуждаемых проблем. Эти рассуждения могут показаться механистичными, если не упрощенными и отвлеченными, но их следует оценивать в контексте междисциплинарного диалога. Установление взаимосвязей между гуманитарными и точными науками совершенно необходимо при изучении обществ. Именно с этих позиций следует рассмотреть этот опыт количественного описания и применения интегративного подхода к изучению сложной и темной близкой нам системы человечества».

(С. П. К. пиз. *Сколько людей жило, живет и будет жить на земле. Очерк теории роста человечества*.)

Введение

В этой части работы мы сконцентрируемся на анализе эволюции человеческого сообщества с позиций теории сложности и в контексте, который является прямым следствием сформулированного нами Основного закона — необходимого условия эволюции: «Сложность эволюционирующей системы всегда растет»¹.

Как уже отмечалось в первой части, при анализе эволюционных процессов на передний план исследований выдвигается определение: а) механизмов эволюции (его системных детерминант) и б) меры (или мер) сложности, соответствующей данному механизму. Что касается вида *Homo sapiens*, то последнюю по времени (и по нашим представлениям — основную) часть его эволюционной истории занимает Производственный механизм. В первой части работы мы выделили следующие этапы этого механизма: потребительский, обменный, финансовый, финансово-информационный, финансово-информационно-сетевой.

Можно дискутировать по поводу выделения в истории *Homo sapiens* в качестве основного механизма эволюции именно того, который связан с производством. Можно рассуждать и по поводу приведенного состава его этапов. Например, возможен и такой классификация: в Производственном механизме выделяются три этапа — **потребительский, обменный, финансовый**. А в финансовом, в свою очередь, выделяются следующие подэтапы: **мелкотоварный, ремесленный, мелкозвеньевой, индустриальный, информационный** (или постиндустриальный), **информационно-сетевой**. Но мы исходим из представления, что именно переход *Homo sapiens* к производству создал человеческую цивилизацию и культуру и определил тем самым направление, которое

¹ Уже при написании второй части данной работы вторично случаю наткнулся в интернете на работу Анисимов В.В. «Озвучивание сложности эволюционирующих систем». 2004., размещенную на сайте: <http://aicommunity.narod.ru/TheBase/KombEvol.html>. Наш подход поразительно близок к тому, что написано в этом труде. В определенных моментах мы находим почти буквальное совпадение. Однако, полагаем, что читатель нейдет и существенные различия в этих двух подходах. В частности, в определении основного понятия теории — механизма эволюции, тем же в интерпретации самого понятия «сложность», ее роли, свойств и определении мер сложности для различных механизмов эволюции, тем же их динамики.

приобрело все последующее развитие человеческого сообщества. Производственные процессы в силу их фундаментальности и универсальности являются источником всех основных человеческих институтов за всю историю их существования. С другой же стороны — они имеют тесную связь и основу в лице предыдущих эволюционных механизмов и тем самым образуют продолжение общего эволюционного процесса.

Остановимся на проблеме определения меры (мер) сложности Производственного механизма эволюции и его этапов.

Изучая процессы развития человечества, знаменитый английский исследователь (начиная с Мальтуса² и его последователей) отмечает роль параметров «численность населения» и «динамическая численность населения» в этих процессах³.

Среди потока публикаций на данную тему мы хотели бы отметить особое внимание на

² T. Malthus. An Essay on the Principle of Population, as It Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers, 1798

³ Verhulst, P. F., (1838). Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Correspondance mathématique et physique 10:113-121. Verhulst, P. F., Recherches Mathématiques sur La Loi D'Accroissement de la Population, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, 18, Art. 1, 1-45, 1845 (Mathematical Researches into the Law of Population Growth Increase). Foerster, H. von, Mora P., and Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. At this date human population will approach infinity if it grows as it has grown in the last two millennia // Science. — 1960. — № 132. — С. 1291-1295.; Meadows D H et al. The Limits to Growth (New York: Universe Books, 1972); Hoerner S. J. von. (1975). Population Explosion and Interstellar Expansion // Journal of the British interplanetary Society. Vol.28: 691-712. HYDE (History Database of the Global Environment 3.1) (2011). Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL).; McEvedy C., R. Jones (1978). Atlas of World Population History // New York: Facts on File; Chesnais J-C The Demographic Transition. Stages, Patterns, and Economic Implications (Oxford: Clarendon Press, 1992); Cohen J E How Many People Can the Earth Support? (New York: Norton, 1995); Dolgonosov B.M., V.I. Naidyonov (2006). Informacziennaya koncepcziya dinamiki chislennosti chelovechestva [Information concept of dynamics of number of mankind] URL: [http://www.iwp.ru/sites/files/iwp.ru/pub/18/2010-02-05/EcolMod-2006_198\(3-4\)375-386.pdf](http://www.iwp.ru/sites/files/iwp.ru/pub/18/2010-02-05/EcolMod-2006_198(3-4)375-386.pdf) (accessed: 25.10.2015).; A.V. Korotayev and A.Y. Malkov. A compact mathematical model of the World System economic and demographic growth, I CE — 1973 CE. // International journal of mathematical models and methods in applied sciences. Volume 10, 2016; В.Кононов. Мистик и истинный гиперболического закон. // Демографическое обозрение, т. 2, №.2, 2015, Сс. 92-105.; Турчин П. Долгосрочные колебания численности населения в исторических обществах. Коннектикутский университет. Данная статья представляет собой перепечатанный и дополненный второй перевод статьи: Turchin, P. 2009. Long-term population cycles in human societies. Pages 1-17 in R. S. Ostfeld and W. H. Schlesinger, editors. The Year in Ecology and Conservation Biology, 2009. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1162. Перевод Петра Петрова, редактор Светланы Боринская.; К. пиз С.П. Феноменологическая теория роста населения Земли. // УФН 166 63 (1996); К. пиз С.П. Общая теория роста человечества: сколько людей жило, живет и будет жить на Земле (М.: Наука, 1999); К. пиз С.П. Парадоксы роста. Законы развития человечества. М.: Альпина нон-фикшн, 2009.; Kapitza S P Global Population Blow-Up and After. The Demographic Revolution and Information Society (A Report to the Club of Rome and the Global Marshall Plan Initiative) (Hamburg: Tolleranza, 2006, Moscow, 2007); С.П.К. пиз. К теории роста населения Земли. УФН, т. 180, № 12, 2010 Сс.1337-1346.

взгляды Сергея Петрович К пицы. В эпигр фе ко второй ч сти н шей р боты мы привели слов С. П. К пицы из предисловия к его книге «Сколько людей жило, живет и будет жить н земле. Очерк теории роста человечеств », н которую (р вно к к и н другие р боты по д нной тем тике) мы будем ссыл ться при н лизе мех низмов эволюции человеческого обществ . С. П. К пиц , к к выд ю щийся и потомственный естествоиспыт тель, обл д л глубокой интуицией и опытом в поним нии сложных проблем, предст вляющих собой фокус, средоточие влияния множеств к чественно р з нящихся между собой ф кторов. Т к, отвеч я н вопрос: почему теория роста человечеств , из ложенн я в его р бот х (и в более р нних р бот х Фёрстер , Хорнер и других), является т кой результативной, он отмеч ет, что это произошло потому, что в р бот х д нного н пр вления **всё н селение Земли р ссм трив ется к к един я систем** .

Д лее К пиц рефлексировает: «Одн ко многим ближе и понятнее регион льный подход и соци льно-экономический н лиз чем феноменологические теории физик и более отвлечённые модели м тем тик . К сож лению, р звитый ниже подход с трудом восприним ется тр диционными демограф ми, в то время к к целостность демографической системы человечеств неоспорим .

Но именно демография, котор я оперирует числ ми к к универсальной х р ктеристикой н селения, предст вляет основу для количественного исследований его роста и р звития методами физики и м тем тики. В то же время для физики эт з д ч предст вляет интерес к к одн из зн чимых проблем н уки. Поэтому втор обр щ ется к к к физик м, т к и к историк м, демограф м и экономист м в поиск х вз имопоним ния и сотрудничеств в этой новой обл сти междисциплинарных исследований. Этот соци льный з к з связ н с критическим состоянием мирового сообществ в эпоху демографической революции, требующей нового поним ния всей истории человечеств . Нед ром все крупные историки к к Бродель⁴, Ясперс, В ллерстейн, Конр д и Дьяконов утвержд ли, что есть только мет история — история всего человечеств , котор я является фундаментальной проблемой в н ук х об обществе. Эт пост новк з д чи побудил втор к р звитию опыта количественной теории роста человечеств , охв тывающей всё время существов ния человек , н чин я с эпохи нтропогенез ».

Мы поддержив ем д нный призыв, ибо для н с он еще более кту лен, поскольку в р зр ботке н шей общей эволюционной схемы, кроме отмеченных С. П. К пицей специ листов, необходимо уч стие химиков, геологов, строфизиков, генетиков, предст вителей нейрон уки и медицины, нтропологов, психологов, филологов, культурологов, специ листов в обл сти кибернетики, информ ционных технологий, когнитологии и м тем тической лингвистики, фин нсистов, политологов, системных н литиков и многих других. Мы т кже

поддержив ем тезис, что в н уке н ступило время «соби р ть к мни» и вслед з эпохой дифференци ции н ступил период интегра ции н ук, ведь простые, «специ лизиров нные» з д чи уже в основном решены, з то кту лизиров лись сложные комплексные проблемы, реш ть которые к тому же приходится в условиях дефицита исторического времени.

Собственно, *Основной з кон эволюции* и предполо г ет предст вление о Мире к ко единой системе. Ведь он, к к отмеч лось в первой ч сти, действует «н всем ди п зоне Мирозд ния», что возможно лишь в условиях системной (и д же «сверхсистемной») общности.

В этой связи ск жем несколько слов о том поним нии концепции системы и системного подхода , которым мы следуем в д нной р боте. Основные её положения изложены в н ших ст тьях⁵. Н ше определение понятия системы можно изобр зить в виде символического р венств : $S = C + C + C$, где «С» в левой ч сти обозн ч ет понятие «систем », пр в я ч сть демонстрирует н личие и вз имодействие основных обр зующих компонент этого понятия, именно «структуру», «субст нцию» и «субъект»⁶. Т ким обр зом, мы р звив ем поним ние системного подхода , основыв ясь н р ссмотрении отношений три ды «структур — субст нция — субъект», котор я пол г ется системообр зующей. Именно выделение структурных, субст нциальных и субъектных свойств, т кже отношений между ними сообщ ет н лизированной ре льности свойство «быть системой».

В з ключение вводного р здел и для обеспечения связности изложения приведем фр гмент «Обобщенн я эволюционн я последов тельность» (последовательные ш ги дин мики мех низм эволюции):

1. З рождение (возникновение) мех низм эволюции («эмерджентность»).
2. Индуцирование системы (отношений три ды «структур — субст нция — субъект») нового мех низм в его вз имодействии и конкуренции с предыдущим.
3. Выход нового мех низм н ст дию доминирования.
4. Ст дия **линейного** усложнения мех низм эволюции.
5. Ст дия **полиноми льного** усложнения мех низм эволюции.
6. Ст дия **экспоненци льного** усложнения и включение мех низмов торможения эволюции. Эпох **кризисов и к т строф**.
7. З рождение (возникновение) **следующего мех низм** .

⁵ В.А. Широков. Лингвистик и системный подход. // Бионик интеллект . Ч сть I. 2015. № 1 (84). Сс. 3—12. Ч сть II. 2016. № 2.

⁶ Автор осозн ет те трудности, которые встретятся н пути определения понятий структуры, субст нции и субъекта . Поэтому д нным вопросом (которому, впрочем, посвящен колосс льн я библиография) в н стоящей р боте мы з ним ться не будем, пеллируя к интуиции чит теля и отсыл я его к ук з нным выше ст тьям в «Бионике интеллект ».

⁴ Braudel F. On History (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1980).

Динамика численности и селения как эволюционный фактор и меры сложности механизм эволюции

При анализе вопросов, вынесенных в заголовке данного параграфа, мы будем основываться на результатах работ: Verhulst, P. F., Foerster H., Mora P., Amiot L., Meadows D. H., Hoerner S. J., Jones C. R., Chesnais J.-C., Cohen J. E., Долгонос Б.М., Найденов В.И., Коротев А.В., Малков А.С., Халтурин Д.А., Кононов А.И., Турчин П., Кипиц С.П. и других (соответствующая библиография указана в ссылке № 3).

Результаты эти, вкратце, таковы.

Бельгийский математик Пьер Ферхюльст в 40-х годах XIX ст. сформулировал логистическое уравнение для численности населения (уравнение Ферхюльста):

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right), \quad (1)$$

где функция $N(t)$ — численность популяции в момент времени t ; параметр r характеризует скорость роста (произведения), K — максимально возможная численность популяции. Решением уравнения (1) является логистическая функция:

$$N(t) = \frac{KN_0 e^{rt}}{K + N_0(e^{rt} - 1)}, \quad (2)$$

Введенный Ферхюльстом в уравнение Мальтуса дополнительный отрицательный член, пропорциональный квадрату скорости роста, отражает уменьшение численности (и ограничивает мальтусовскую геометрическую прогрессию) за счет ограниченности ресурсов. Легко видеть, что в данной модели $\lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = K$.

В 1960 г. был опубликован статья «Судный День: пятниц 13 ноября, 2026 года нашей эры», авторами которой Ферстер, Мор и Амиот обосновали закон гиперболического роста населения Земли с началом новой эры:

$$N(t) = \frac{C}{(t_s - t)^n}, \quad (3)$$

где $N(t)$ — численность населения в году t ; $t_s = 2027 \pm 5$ лет; $C = (179 \pm 0,14) \times 10^9$ (чел. × лет); $n = 0,99 \pm 0,009$. При $t = t_s$ (точка сингулярности) выражение в правой части обращается в бесконечность и теряет смысл, что позволило вторым иронически интерпретировать эту точку как «Судный день»⁷. Все, что предполагалось, верили, что за долго до момента «Судного дня» произойдут радикальные изменения в темпах роста населения и никакой катастрофы, связанной с ростом населения, не случится. И действительно, уже в 70-е годы прошлого века ускорение роста численности населения прекратилось. Это обстоя-

тельство стимулировало более глубокие исследования глобальных демографических закономерностей.

С.П. Кипиц построил феноменологическую теорию роста численности населения. Он заметил, что гиперболический закон (3) является решением уравнения:

$$\Delta N / \Delta t = N^2 / K^2, \quad (4)$$

где введено время $t = T/\tau$, измеряемое в условных поколениях $\tau = 45$ лет, $K = \sqrt{C/\tau} = 64000$ — безразмерная константа роста.

Уравнение (4) замечательно тем, что демонстрирует скорость роста численности населения, пропорциональную квадрату этой самой численности. В этом факте вторичной модели и строится философия гиперболического закона. Для нас модель также совершенно явно носит информационный оттенок, поскольку содержит квадратичный член, соотносимый с полным информационным взаимодействием членов сообществ, имеющим по комбинаторике квадратичный порядок роста.

Однако, недостаток данной модели, именно — сингулярность остается и с ней нужно было что-то делать. В этом направлении предпринимался целый ряд попыток. В частности, С.П. Кипиц модифицировал уравнение (4), приведя его к следующему виду:

$$\frac{dN}{dT} = \frac{C}{(T_1 - T)^2 + \tau^2}, \quad (5)$$

где член τ^2 ограничивает рост численности при приближении к точке демографического перехода⁸ $T_1 = 1995$, несколько смещенной относительно точки сингулярности T_s .

Интегрирование (5) приводит к формуле для роста численности:

$$N(t) = \frac{C}{\tau} \operatorname{arccotg} \frac{T_1 - T}{\tau} = K^2 \operatorname{arccotg} t, \quad (6)$$

где время t измеряется в единицах $\tau: t = (T_1 - T)/\tau$.

В модели А.В. Коротева, А.С. Малкова и Д.А. Халтуриной⁹ рост численности описывается системой трех уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= aNS(1-L) \\ \frac{dS}{dt} &= bNS \\ \frac{dL}{dt} &= cSL(1-L) \end{aligned} \right\}$$

где S — избыточный продукт, L — относительная грамотность населения. В данной модели (в отличие от модели Кипица) численность населения

⁸Chesnais J.-C. The Demographic Transition. Stages, Patterns, and Economic Implications (Oxford: Clarendon Press, 1992); С.П.Кипиц. К теории роста населения Земли. УФН, т. 180, № 12, 2010 Сс.1339-1341.

⁹Korotayev A.V., A.S. Malkov, D.A. Halturina (2005b). Matematicheskaya model' rosta naseleniya Zemli, ekonomiki, tekhnologii i obrazovaniya [Mathematical model of growth of the population of Earth, economy, technology and education]. M.: Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS.

⁷Поскольку именно в пятницу 13 ноября, 2026 год — день 115-летия Ферстера, одного из авторов данной работы.

достигет максимального значения N_{max} — конечное время, что сблизит её с логистической моделью Ферхюльста.

Нельзя имитировать модели, в которых численность населения не достигнет бесконечного значения, поскольку мы пребываем в убеждении, что конец света (или Судный День) наступит не из-за перенаселения, совсем по другим причинам.

Но дело не в этом. Мы привели эти результаты для того, чтобы продемонстрировать, что моделирование динамики численности разными исследователями приводит, в общем-то, к качественно подобным (в рамках «презумпции нулевого приближения» — к идентичным) результатам: сначала линейный рост, затем — более быстрый полиномиальный, затем экспонент или, если угодно, конечный участок гиперболы. Это позволяет нам использовать эти результаты и с помощью метры — численность населения в качестве меры сложности механизмов эволюции, в котором участвует человек. Причём, как видно из табл. 1, рост населения Земли (в миллионах)¹⁰, действующий на колоссальном временном диапазоне — от (–1,6) млн. лет до 1995 года, когда, по С. П. Кипцу, наступил глобальный демографический переход, отмеченный в таблице жирным шрифтом¹¹.

Таблица 1

Рост населения земли (в миллионах)

Год	N	N _m
$-4,4 \times 10^6$	(0)	1×10^{-6}
$-1,6 \times 10^6$	0,1	0,1
-35000	1 – 5	2
-15000	3-10	8
-7000	10-15	16
-2000	47	42
0	100-230	86
1000	275-345	173
1500	440-540	345
1650	465-550	492
1750	735-805	685
1800	835-907	851
1850	1090-1110	1120
1900	1608-1710	1625
1920	1811	1970
1930	2020	2196
1940	2295	2474
1950	2556	2817
1955	2780	3019
1960	3039	3245
1965	3345	3497
1970	3707	3778
1975	4086	4098
1980	4484	4430
1985	4851	4801

¹⁰С.П.Кипец. К теории роста населения Земли. УФН, т. 180, № 12, 2010. — С.1339.

¹¹Вообще-то, С. Кипец отводит не глобальный демографический переход времени, равное $2t = 90$ лет

1990	5277	5198
1995	5682	5613
2000	6073	6038
2005	6453	6463
2010	6832	6878
2025	7896	7987
2050	9298	9259
2075	9879	9999
2100	10400	10451
2125	10700	10745
2150	10800	10956
2200	11000	11225
2500	—	11364

Некоторые исследователи относят демографический переход к более ранний момент времени, именно к 70-е или 80-е годы прошлого века, но это уже не принципиально. В нашей интерпретации этот факт означает, что метры «численность населения Земли» с данного момента перестал служить мерой сложности механизмов эволюции человеческого сообщества.

Деньги и эволюция человек (в поисках метры эволюции)

Итак, метры «численность населения» на протяжении довольно длительного периода развития человечества действительно играла роль меры сложности соответствующих механизмов эволюции человеческого общества, по современным представлениям, где-то на рубеже 70-90-х годов XX столетия его действие как эволюционного фактора прекратилось.

В этой связи проанализируем возможные другие метры, которые могли бы претендовать на роль метры эволюции человеческого сообщества на определенном этапе его развития. Рисуется, в житейском свойстве данного метры должно быть его возрастание. Такими метрами могли бы служить, например, объем накопленного человечеством информации (знаний), рост освоенных территорий, динамика потребления ресурсов (главным образом — энергии), число различных профессий и, возможно, некоторые другие. В. В. Анисимов в процитированной выше работе утверждает, что есть основания полагать, что число профессий росло пропорционально росту населения Земли. Его данные по росту чисел профессий приведены в табл. 2.

Из этой таблицы видно, что около 10 тыс. лет назад, ко времени неолитической революции жизнь людей уже настолько усложнилась, что количество ремесел достигло 100. Около пяти тысяч лет тому назад появились первые государства. Государство является настолько сложным образованием, что его существование немыслимо без участия людей сотен различных профессий. Эту оценку и дает таблица. К моменту расцвета Римской Империи количество профессий, в соответствии

с оценкой втор, должно было приблизиться к тысяче. А что происходило в это время с темпами эволюции? В к менном веке период удвоения населения составил примерно 500 тыс. лет. Тем же, следовательно, был и темп роста сложности. Далее скорость роста продолжал стремительно увеличиваться. В период, предшествующий неолитической революции численность населения и профессий (знаний и сложность) удваивались каждые 20 тыс. лет, во времена Римской Империи – каждую тысячу лет, ко времени первой промышленной революции (1760-ые годы) уже всего порядка 100 лет. При приближении к современной эпохе темп удвоения резко растет: к 1900 году – 50 лет, к 1980 году – 45 лет. Далее нежных данных у нас нет. Однако очевидно, что современные тенденции к интеграции знаний неминуемо приводят к эффекту снижения темпа роста, который мы именуем «число профессий». Следовательно, и здесь скорее всего действует некий закон «демографического перехода», тем что и этот параметр перестает быть релевантным показателем эволюции.

Таблица 2

Рост числа профессий в связи с ростом численности

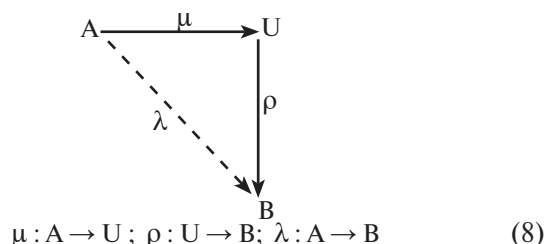
Время (лет тому назад)	Численность Земли	Число профессий
1.5 млн	100 тыс	1
100 тыс	1 млн	10
10 тыс	10 млн	100
5 тыс (3000 год до н.э.)	20 млн	200
2 тыс. (начало н.э.)	100 млн	1000
1 тыс. (1000 г н.э.)	200 млн	2000
500 (1500 год н.э.)	400 млн	4000
250 (1750 год н.э.)	700 млн	7000
150 (1850 год н.э.)	1200 млн	12.000
100 (1900 год н.э.)	1600 млн	16.000
50 (1950 год н.э.)	2800 млн	28.000
20 (1980 год н.э.)	4400 млн	44.000
0 (2003 год н.э.)	6000 млн	60.000

Напомним, что на определенном этапе этой эволюции был «найдено» новое направление сложности, именно – Производственный, который в нашей интерпретации реализуется в пяти различных этапах. Отметим, что из них, которые содержат финансовую составляющую, именно: финансовый (собственно финансовый или производственный), финансово-информационный, финансово-информационно-сетевой.

Как следует из этих тенденций, определяющей особенностью данных этапов является то, что в них фигурирует финансовый компонент. Мы предполагаем использовать субструкцию данной компоненты – деньги в их количественном выражении в качестве параметра сложности соответствующих этапов Производственной механизации эволюции. Рассмотрим, какие у нас для этого есть основания.

Теории, практики, истории, логики, философии, политике, комедии, трагедии, эстетике и т. д. и т. п. денег, вообще, посвящен колоссальный, практически необозримый литературный труд. Поисковик Google на запрос “money” выдает более 2 миллиардов 800 миллионов ссылок¹². Но к нашему удивлению, среди этой информации мы не удалось обнаружить ничего, посвященного интерпретации феномена денег как фактора общей эволюции Мира. Констатируя факт, что деньги являются одним из основных изобретений человечества, сравнимых с изобретением письменности, электричества, электронных средств связи (всемирной сети интернет), большинство авторов отмечают их роль лишь в развитии товарно-экономических отношений. Это означает, что в качестве общеэволюционного фактора деньги не воспринимались. В действительности же деньги играют гораздо более фундаментальную роль в истории человека, чем это предполагалось ранее. Поэтому мы и предлагаем определить деньги в качестве субструкции финансового механизма эволюции. Какие есть резоны для такого выбора?

Начнем с полушутливого замечания. Задумываясь вопросом: чем принципиально человек отличается от животного? Ведь если вдуматься, то животные обладают почти всеми качествами, которые многие люди считают своей исключительной прерогативой. У многих животных в той или иной мере наличествуют интеллект, речь, юмор, социальные системы, эмоции, даже некие эстетические inclinations «экономических» отношений в виде тех или иных форм симбиоза. Чего у них нет в принципе, тем это денег. Деньги есть только у людей (и то не у всех...). А если серьезно, то деньги играют совершенно особую роль в истории человеческого сообщества. Попробуем изобразить эту роль в символической форме: Рассмотрим треугольную диаграмму:



¹² Google money
 Все Картинки Видео Новости Карты Ещё Настройки Инструменты
 Результатов: примерно 2 860 000 000 (0,48 сек.)

Н д нной ди гр мм символ ми A и B обозначены произвольные объекты, принадлежащие некоторому классу объектов K . Символом U обозначен некий «универсальный» объект из некоторого «универсального» класса U , обладающего тем свойством, что для $\forall A, B \in K \exists U \in U$, такой, что справедливы ди гр мм (8). При этом отображение λ определяется как композиция отображений ρ и μ :

$$\lambda = \rho \circ \mu, \quad (9)$$

так что ди гр мм (8) становится коммутативной. В силу произвольности выбора объектов A и B справедливы ди гр мм с обозначенными стрелками.

$$\begin{array}{ccc} A & \xrightarrow{\tau} & U \\ & \searrow \nu & \downarrow \omega \\ & & B \end{array} \quad (10)$$

$$\nu = \tau \circ \omega, \quad (11)$$

Таким образом, универсальный объект из U отображения μ, ρ, λ (τ, ν, ω), где $\lambda = \rho \circ \mu$, $\nu = \tau \circ \omega$, устанавливает эквивалентность между любыми $A, B \in K$. Понятно, что такая схема может служить в качестве элементной формальной модели понятия, функций и субстанции денег в системе экономических товарно-денежных отношений. Таким образом, отношение купли изображается как:

$$U \rightarrow X,$$

отношение продажи, соответственно, как:

$$Y \rightarrow U,$$

где $X, Y \in K, U \in U$.

Н д деленный воображением читатель может довольно легко «спроецировать» изложенное на реальную ситуацию товарного производства и товарно-денежного обмена, обогатив формальные элементы ди гр мм (8), (10) и формул (9), (11) всеми необходимыми обеспечивающими трибунтами, которые имеют место в обычных товарно-денежных отношениях. Так, для обеспечения операционных функций ди гр мм (8), (10) и формул (9), (11) требуются соответствующие обеспечивающие институты (производство, транспорт, рынок, банки, биржи и т. п.). Для функционирования универсального класса U необходим его единственность, которую в состоянии обеспечить лишь такая вторичная структура как государство. Круги все больше становятся похожими на «категорию» в смысле математической теории категорий. А если рядом функционирует еще одно государство, то их взаимодействие в рамках формализма обмена приобретет «функторные» черты, что еще более подчеркнет отмеченную теоретико-категорную логику.

Необходимость количественной интерпретации элементов формул (8)–(9) ставит целый ряд метрологических, каллиметрических, учетных, юридических и иных задач, для разрешения которых требуется создание необходимых операционных нормативно-правовых и организационных баз. Анализ отмеченных задач в системном

подходе в рамках концептуального комплекса «структур» — «субстанции» — «субъект», на наш взгляд, позволяет построить довольно последовательную, содержательную и реалистичную теорию денег.

Особый интерес, по нашему мнению, представляет исследование временной и исторической динамики, связанной с функционированием финансовых систем и тех форм, в которых они реализуются в конкретно-исторических условиях. И что особенно важно отметить, денежные системы должны быть организованы таким образом, чтобы элементы соответствующих универсальных множеств обладали достаточно определенными количественными, числовыми характеристиками, без чего функционирование системы, функционирующей в форме (8)–(9) вообще невозможно. Благодаря одному из свойств можно утверждать, что универсальные множества служат концентраторами всех основных производственно-общественных отношений («интегрируют» их), соответствующие количественные корреляты выполняют функцию мер сложности соответствующих социальных образований и определенных этапов их развития. Это становится понятным, если принять во внимание, что в определение упомянутых количественных мер вносятся все компоненты динамической сети, элементами которых являются ди гр мм вида (8–9), то есть все «объекты», «морфизмы» и «функторы». Отмеченные обстоятельства и оправдывают вывод об использовании денег в качестве меры сложности механизмов эволюции, которые мы определили как содержащие финансовую составляющую.

Обратимся к истории развития денег, которую мы свели в табл. 3.

Таблица 3

Краткая хронология денег

№	Время	Событие
1	5–6 тыс. лет тому назад	Изобретение денег. Возникновение государств. Монополия государства на деньги
2	3000 лет тому назад	Возникновение кредита (Ассирия, Вавилон, Египет. В Библии есть упоминание о кредите: «Не будь из тех, кто берет злог и поручается за долги». (Книга Притчей Соломоновых, 23, 26.)
3	1717 г.	Английское экономическое чудо. «Великая перемена». Сэр Исаак Ньютон на посту Директора Королевского Монетного Двора ввел новое соотношение между серебром и золотом, что способствовало изъятию серебра из обращения и введению Британского золотого стандарта. Великобритания становится лидером финансового мира.
4	1867 г.	Первая мировая валютная система (Парижская) стихийно сформировалась в XIX в. в форме золотомонетного стандарта. Юридически был оформлен межгосударственным соглашением на Парижской конференции в 1867 г., которое признало золото единственной формой мировых денег.

№	Время	Событие
5	1913 г.	Создание Федеральной резервной системы США. Отказ государств США от монополии на выпуск долларов.
6	1914-1918 гг.	1-я Мировая Война. Начало перестройки Мировой финансовой системы «под доллар»
7	1917 г.	Великая Октябрьская Революция в России. Отрицание целостности Мировой Финансовой Системы.
8	1922 г.	Второй валютный систем (Генуэзский). Оформлен на международной экономической конференции в 1922 г. Закреплен переход к золотодевизиному стандарту, основанному на золоте и ведущих в оборот, которые конвертируются в золото. Появились «девизы» — валютные средства в иностранной валюте, предназначенные для международных расчетов. Характерные черты Генуэзской валютной системы: • Наличие двух валют (девизов). • Другие валюты изменяются косвенно. Свободно плавающие курсы. Кризис 1933 г. разрушил эту систему. Доллар девальвирован на 41%.
9	1929 — 1939 гг.	Великая Депрессия в США. Подготовка к перестройке финансовой системы на глобальном уровне.
10	1933 г.	Президентом США Франклином Рузвельтом подписан Указ № 6102 о фактической конфискации у населения и организаций золота, находящегося в слитках и монетах.
11	1939 — 1945 гг.	2-я Мировая Война.
12	1944 г.	Третья мировая валютная систем (Бреттон-Вудский). Конференция ООН в Бреттон-Вудсе. Создание Бреттон-Вудской системы и отказ от нее СССР. Начало холодной войны
13	1976-1978 гг.	Четвертая мировая валютная систем (Ямайский). Конференция 1976 в Кингстоне. Становление Ямайской валютной системы. Отмена золотого стандарта. Юридически завершена демонетизация золота: отменены его официальные цены, золотые притеты, прекращены изменения уровня золота. Объявление СДР (условная в валютном МВФ: СДР — специальные права заимствования; SDR — Special Drawing Rights) базой Ямайской валютной системы и основой валютных притетов.
14	1974 г.	Начало информационно-эпохи.
15	1990 г.	Сетевая эпоха. Интернет. Развитие социалистической системы. Глобализация. (НАЧАЛО ФИС-ЭТАПА)
16	2008 г.	Финансовый кризис 2008 года. Появление сетевой технологии Blockchain и криптовалюты Bitcoin.

Хронология — это весьма избирательный и охватывает преимущественно события, отражающие свойства денег, которые мы связываем с эволюционными процессами. Так, в первом пункте мы связали два события — появление денег и возникновение государств с их монополией на деньги.

Нам представляется, что государства и появились главным образом для того, чтобы обеспечить единую монополию. Это свидетельствует о том, что даже в те давние времена люди (осознанно или не вполне), но почувствовали силу денег и ту роль, которую они играют в обществе.

По-видимому, довольно рано в сфере товарно-денежных отношений появился такой инструмент как кредит и связанный с ним залог. Уже в Книге Притчей Соломоновых, написанной которой относятся к началу первого тысячелетия до новой эры, содержится призыв-поучение премудрого царя Соломон: «Не будь из тех, которые дают руки и поручаются за долги: если тебе нечем заплатить, то для чего доводить себя, чтобы взяли постель твою из-под тебя?».

Далее в нашей хронологии следует событие в более чем 2500 лет и затем отмечается знаменательное событие, именно, установление Исаком Ньютоном в 1717 г. «золотого стандарта» в Англии. Кажется, это был исторически первый случай введения государством золотого стандарта. На посту директор Королевского Монетного двора Ньютон был одним из руководителей денежной реформы, известной под названием «Великая переценка», которая по мнению многих исследователей и стала причиной «английского экономического чуда».

Следующее знаменательное событие происходит спустя почти 200 лет, хотя попытки международного валютного регулирования предпринимались и ранее (например, Парижская конференция 1867 года). Это создание Федеральной Резервной Системы США. История эта весьма поучительна. На первый взгляд кажется, что к ее созданию привела цепь событий, на которые нужно было реагировать быстро и «ex necessitate» — «по необходимости». Так, финансовый кризис 1907 года в США (также ряд предшествующих) сделал остро актуальным давно назревший вопрос о центральном банке, которого не было в США. Изучение опыта европейских стран, длительные дискуссии и политические разногласия задержали его решение еще на шесть лет, и лишь в декабре 1913 года президент Вудро Вильсон подписал закон без проблем прошедший через обе палаты Конгресса о создании Федеральной резервной системы (ФРС), которая с тех пор выполняет в специфических условиях США функции центрального банка.

Специфика этого заключалась в том, что регионализм штатов и интересы местных банковских группировок фактически сделали невозможным создание единого центрального банка. Эта идея была отвергнута в пользу сложной структуры из 12 региональных резервных банков и претворения в Вашингтоне.

В последующие десятилетия независимость региональных банков по факту уменьшилась, централизация возросла. «Компромиссно» был решен и проблем отношений ФРС с государством. С одной стороны, был провозглашен ее

независимость от привилегий: коммерческие банки, являющиеся членами системы, стали формальными собственниками (акционерами) резервных банков. С другой стороны, государство стало гарантом выпускаемых ФРС банкнот, оно получило право назначать членов правления; председатель правления назначает президентом соглашения.

Таким образом и по сути, доллар принадлежит акционерному обществу (частной компании) ФРС, акционерами которой являются 12 федеральных резервных банков и которые в свою очередь организованы частными банками (в США вообще нет государственных банков). Как отмечал бывший глава ФРС Алан Гринспен: «Федеральная резервная система формально независима от Белого дома».

Федеральный резерв печатает деньги и дает их в долг государству путем покупки его облигаций. Далее государство выкупает свои облигации, деньги процент митовозвращает ФРС. Получается, что у государства США вообще нет своих денег — даже доллары ему не принадлежат, оно берет их в долг. До создания ФРС доллары печатало государство. После создания ФРС доллар стал появляться в виде: «Federal Reserve Note» — банкнот Федерального резерва.

Итак, с созданием Федерального Резерва в США были ликвидированы монополия государства на выпуск денег в пользу ФРС, который «перетянул» на себя роль монополиста в данном вопросе.

Последующие события (1-я Мировая Война, Великая Депрессия, 2-я Мировая Война, создание Бреттон-Вудской системы и т. д.) не только вызвали мысль о какой-то телеологии в создании ФРС, но целенаправленно конструирование в будущем Мировой Финансовой Системы — своеобразной глобальной финансовой пирамиды, вершиной которой является ФРС. Автор докладов от конспирологических предположений — скорее идеологи, творцы и фактотумы Федерального Резерва сумели в полной мере воспользоваться возможностями, предоставленными им перипетиями исторического развития. Однако нельзя и отрицать того обстоятельства, что так или иначе по времени и целеустремленность политико-финансовой стратегии вряд ли смогла бы осуществиться, если бы она не индуцировалась и не стимулировалась некоторыми объективными закономерностями. Которые мы и относим Основной закономерности эволюции, ибо развитие Мировой Финансовой Системы сопровождалось неуклонным увеличением сложности соответствующего механизма эволюции, что будет продемонстрировано ниже.

Нам предстоит увидеть, что руководители ФРС постепенно осознавали те новые возможности, которые предоставляет привилегированный статус монополиста-производителя валюты стран к США. Уже после Первой Мировой Войны, где

Соединенным Штатам, не прилагая особых усилий, удалось воспользоваться значительным числом ее результатов, стало понятно, что в новом мире, гораздо более тесно связанным с личным родом политико-экономическими и другими отношениями, роль денег, как универсального генератора-посредника, будет возрастать. И в выигрыше окажется тот, кто в большей мере сумеет приспособиться к новым условиям.

В 1933 году президент США Франклин Рузвельт подписал закон № 6102 о фактической конфискации у населения и организации золотого, не ходящегося в слитки и монеты. Таким образом, золотой стандарт если и не был ликвидирован полностью, то значительно ограничился. Нелегально это стало не просто констатацией того факта, что в силу сильно выросших масштабов экономики золото уже не справляется с функцией стабилизатора денег, но главным образом акцией, направленной на обеспечение новых степеней свободы в финансовой сфере для производства различного рода невзоров, в том числе и спекулятивных. Великая депрессия в США послужила поводом для перестройки экономики под задачи доминирования финансово-политических институтов над чисто производственными.

Исключительным событием в смысле перспектив расширения влияния долларовой системы явился Второй Мировой Война. Создается впечатление, что она как будто специально была «организована» для того, чтобы обеспечить доминирование доллара в мире. Перефразируя известное выражение, можно сказать, что если бы Второй Мировой Войны не произошло, то ее следовало бы придумать только для того, чтобы доллар занял доминирующее положение в мире¹³.

Еще до окончания Второй Мировой Войны¹⁴ в июле 1944 года в Бреттон-Вудсе (США, Нью-Гэмпшир) состоялась так называемая Валютно-финансовая конференция Объединённых Наций (*The United Nations Monetary and Financial Conference*), более известная под названием Бреттон-Вудская конференция. Она была призвана заложить основы послевоенного финансового миропорядка. В частности, был установлен Бреттон-Вудский валютно-финансовый систем (Bretton Woods system) — исторически третья по счету, в соответствии с которой для золота был установлен твердая цена (35 долл. за 1 тройскую унцию). В результате США получили мировую валютную гегемонию. Фактически, это привело к появлению *Золотодолларовой стандартной* междугосударственной валютной системы, основанной на господстве доллара. В середине XX века

¹³ Автор не помнит, что он не основывался на конспирологических данных. Наши выводы интуитивны относительно существования или несуществования «мирового заговора» либо «тайного привилегия».

¹⁴ Но уже когда год речерчу героизму Красной Армии и немыслимому напряжению всех сил советского народа был в принципе ясен ее исход, что стимулировало США и Великобританию «оперативненько» открыть второй фронт.

США принадлежало 70 % всего мирового запаса золота. Доллар стал базой валютных притетов, преобладающим средством международных расчетов, в валютных интервенциях и резервных активах. Национальная валюта США, фактически — валюта Федерального Резерва стала одновременно мировыми деньгами.

Характерно, что СССР, несмотря на то, что был участником конференции и подписал Бреттон-Вудские соглашения, в дальнейшем их не ратифицировал. Что сильно ограничивало целостность мировой финансовой системы и, значит, гегемонию доллара. По нашему мнению, это и стало одной из основных причин начала холодной войны, поскольку объективно ограничивало роль протестирования Мировой Финансовой Системы, основной экспансии доллара.

В 1976 г. на конференции стран МВФ в Кингстоне (Ямайка) был утвержден новый — четвертый по счету мировой валютная система. В ней был сделан попытка устранения некоторых противоречий Бреттон-Вудской системы. Был отменен золотой стандарт и юридически завершена демонетизация золота: отменены его официальные цены, золотые притеты, прекращены изменения долларом золота. Теперь чисто финансовые субстанции практически полностью освободились от сдерживающих узм терии в виде золота, что еще больше стимулировало активизацию их «нестерильных», «субъектных», «информационных» свойств. Была декларирована роль СДР в качестве основного финансового инструмента МВФ, но при этом доллар по-прежнему остался ведущей мировой валютой. Таким образом окончательно сформировался в высшей степени эффективный симбиоз системы ФРС и государств США. Национальная идея и национальное достояние США — доллар продолжил свой победоносный поход в Мире, поскольку теперь для формирования глобальной Мировой Финансовой Системы были созданы практически все необходимые институты. Доллар, ставший мировой валютой, всё определеннее завоевывал место основной субстанции и субъекта финансового механизма эволюции. Начался «финансовый постмодерн».

Следствием того стало то, что явился возможность использования основных валютных глобальных финансовых инструментов для решения собственных проблем США. Оборотной стороной отмеченной возможности явилось убеждение США в своей исключительной роли в мире. Эта роль, проявляющаяся в совершенно различных формах (в наше время даже и в тех, которые не помнят *id e fixe*), по сути, базируется на эксклюзивном финансовом статусе ФРС — статусе принципа мировой финансовой долларовой пирмиды. При этом необходимо сознать, что этот пирмидальный, увенчанный Федеральным Резервом структур, выполняющий функции эволюционного фактора, может существовать лишь в условиях постоянного роста роли своего протестирования. Поэтому начавшиеся в эту

эпоху процессы глобализации мира в действительности демонстрировали нечто иное как естественную форму эволюции с Мировой Финансовой Системы. А историческая роль США свелась к поддержке и сопровождению всех обеспечивающих ее инструментов и институтов. Изложенное и составило основу нового Мирового порядка. Эту экспансию ограничивало лишь существование связанной с СССР социалистической системы, не входившей в долларовую пирмиду.

Начало финансово-информационного этапа и его сущность

Параллельно в мире происходили другие, не менее значимые события. В начале 1973 года произошел первый мировой энергетический кризис. Не будем протестировать здесь о его причинах, поскольку на эту тему также имеется достаточно точное число публикаций.

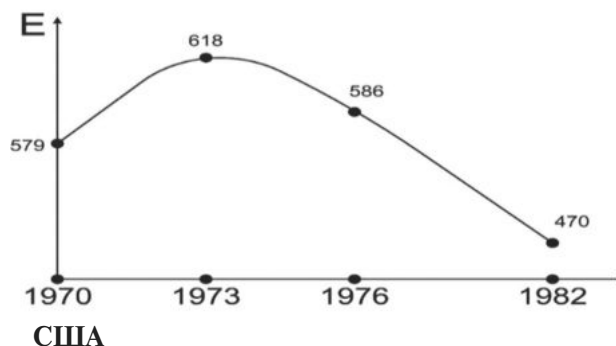
В табл. 4 приведены данные Международного института прикладного системного анализа в Вене — IASA по потреблению всех видов энергии в ведущих странах мира в 1970–1982 гг., отгруппированные в миллион тонн нефтяного эквивалента.

Поведение этого показателя, именно — энергопотребления всех видов энергии, приведенного к единому нефтяному эквиваленту, весьма интересно. До 1973 года, включая и этот год, ставший годом нефтяного кризиса, энергопотребление росло, начиная с 1974 года оно начало уменьшаться, причем в некоторых странах весьма значительно. Например, в США примерно на 20%.

При этом данные свидетельствуют, что общий объем экономики в этих странах по крайней мере не уменьшался, в некоторых даже рос. Создалось впечатление, что происходит увеличение объемов производства при уменьшении вложенных в него ресурсов. Как и за счет чего это могло случиться?

Таблица 4

Динамика энергопотребления в развитых странах в 1970–1982 гг. (в млн. тонн нефтяного эквивалента)



Страны \ Годы	1970	1973	1976	1982
США	579	618	586	470
ФРГ	63,6	66,9	62,1	58,0
Франция	54,1	61,1	61,1	54,4
Англия	58,0	60,5	52,7	41,0
Япония	125,3	150,2	135,3	126,3

Ответ только один: путем интенсивного введения в социотехническую систему некоего нового, «невидимого» ресурса. Мы полагаем, что этим ресурсом стала информация, что ознаменовало переход к новому — финансово-информационному этапу эволюции, начало которого мы в силу данной причины и относим к 1974 году. Вот почему мы, обычно подчеркивая приблизительный, качественный характер наших построений и выводов, в данном случае действуем с нетипичной для нас точностью.

Остановимся на объяснении механизма этого перехода.

В первой части работы, в разделе «Колмогоровская сложность и ее релевантная интерпретация» мы упомянули о связи между энергией и информацией, в частности, о возможности информационно-энергетических трансформаций в связи с объяснением парадокса «демона Максвелла». Соответствующие результаты приведены в разделе работы¹⁵. Суть произошедшего в 70-е годы прошлого столетия переход сводится к следующему.

Фундаментальную роль энергии в современном производстве побуждает его переход к своей основной «машине» и, в той мере, в которой этот взгляд справедлив, позволяет считать, что в основе его функционирования лежат определенные объективные закономерности. Естественно рассмотреть производство как «сумму технологий»¹⁶, то есть как совокупность технологических процессов, вступающих в определенные отношения и взаимодействия, так что любая производственная система (и производство в целом) наглядно представляется в виде некоего динамического графа, вершинами которого являются конкретные технологические процессы, ребрами — технологии взаимодействия между ними. Этот график развивается во времени: появляются и исчезают некоторые из вершин, прерываются старые и возникают новые связи и т. д. Описание графика является физической репрезентацией глобального механизма, осуществляющего перераспределение природных веществ в соответствии с потребностями людей. Но человек в процессе производства может действовать лишь так, как действует сама природа, то есть может изменять лишь «форму веществ»¹⁷; преобразование же «формы веществ» в конце концов осуществляется путем энергетических взаимодействий, комбинируемых тем или иным образом.

Это становится очевидным, если принять во внимание, что все известные явления природы описываются с помощью формализма, в основе которого лежат существенно энергетические величины.

То же происходит и в социотехнических системах и процессах. Если быстрыми темпами от технических деталей или иных конкретных технологий, с необходимостью следует вывод, что любая из них представляет собою последовательность специальных, целенаправленных энергетических преобразований природных веществ. В технологических процессах, применяемых в производстве, мы видим сложные, подчас неконтролируемые комбинации и взаимодействия различных видов и форм энергии: механической в электрическую, электромагнитной в химическую и биологическую, химической в тепловую, ядерной в электрическую и т. д. Несмотря на то, что не всегда удается дать простую энергетическую интерпретацию тех или иных технологий и установить количественную характеристику для их энергетического содержания, принципиально понятно, что именно энергетические преобразования лежат в их основе.

Итак, производство в целом носит существенно энергетический характер, энергия в тех или иных ее формах и проявлениях является источником, средством и, в конце концов, целью технологических процессов как таковых; и наоборот, с ними эти процессы могут быть сведены к единому энергетическому эквиваленту. Можно сказать, что энергия является «субстанцией», творящей технологический процесс, подобно тому, как быстро человеческий труд (по К. Марксу) является субстанцией, «творящей стоимость» в товарном производстве.

Но энергия, как субстрат производств, носит двойственный характер. С одной стороны, он представляет одно из важнейших понятий современного естествознания и представляет в виде имеющихся (классических и неклассических) вариететов гильбертово-лигнелевых формализма основу для описания всех известных явлений природы — в этой ипостаси энергия представляется в виде более или менее сложно сконструированной функции физических координат, импульсов, соответствующих полевых величин, также ряд параметров, являющихся проявлениями так называемых внутренних степеней свободы рассматриваемых систем.

С другой стороны, как величины, характеризующая производство (основным определяющим свойством последнего является его общественный характер), энергия зависит от «общественных» параметров, которыми можно охарактеризовать функционирование производств как общественного процесса. К ним, в частности, относятся и параметры, характеризующие человеческие знания, то есть общественно осмысленную и переработанную информацию, без которой невозможно функционирование никакой социотехнической

¹⁵ Szilard L., Zs. Fur Physic, 54, 840, 1929.; Волькенштейн М.В. Теория информации и эволюция. // "Кибернетика живого: биология и информация". — М.: Наука, 1984. — с. 45-53.; Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. — М.: Наука, 1986. — 190 с.; Стратонович Р.Л. Теория информации. — М.: Советский радио, 1975. — 423 с., гл 12.; Широков В.А. Информационно-энергетические трансформации в информационном обществе. // Украинско-польский научно-практический журнал "НАУКА, ИННОВАЦИИ, ИНФОРМАЦИЯ". — Киев, 1996. — № 1. — С. 48-66. В.А.Широков. Информационная теория лексикографических систем, — К.: Довір, 1998, 331 С.

¹⁶ С. Лем. Сумма технологий. — М.: МИР, 1968, 608 с.

¹⁷ К.М. Маркс. Критика политической экономии.

системы, никакой технологии („ноу-ху“). В результате энергия, используемая в социотехнических средах, приобретает характер „овеществленного“ знания; проще говоря, в технологических процессах, вообще в производственных процессах, энергия становится функцией информации: $E = E(I)$. Это относится как к единичному производственному акту, реализуемому в индивидуальном труде рабочего (или, если угодно, робота), так и к производству, взятому в целом.

В свою очередь, и сама информация, фигурирующая в последней формуле, имеет двойственную природу: она одновременно является и характеристикой человеческого знания, как сугубо общественного явления, и объективной характеристикой природных процессов, не зависящих от человеческого знания. В этом последнем качестве информация во всех системах подчиняется (так же, как и энергия) одним общим объективным закономерностям. Одним из таких фундаментальных свойств информации является, как мы отметили, ее способность к реализации энергетических трансформаций — переходов из энергетических состояний, использование которых невозможно либо осложнено, в более ценные, более „эксплицитные“ формы. В этом смысле не менее глубоко изучен и доведен до точного количественного описания процесс преобразования тепловой энергии в механическую в физических системах, изолированных в тепловом и открытых в информационном отношении, изложенный в 12 главе цитированной выше книги Р. Стратоновича, где описан процесс, результатом которого явилось получение в результате информации-энергетического КПД полезной работы — ее величин пропорциональна количеству информации, поступающей в систему:

$$E \sim \alpha I. \quad (12)$$

С учетом упомянутой возможности запишем уравнение энергетического баланса для всей социотехнической системы, рассматриваемой как „сумма технологий“:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{д}} - E_{\text{о}}, \quad (13)$$

где $E_{\text{д}}$ — сумма всех видов добываемой (вовлеченной в производство) энергии; $E_{\text{о}}$ — сумма всех видов отходов производств (тепловые потери, отходы, не утилизируемое вторсырье, потери от неоптимизированных по энерго- и материальности технологий, машин и механизмов и т.п.); $E_{\text{п}}$ — полезная часть энергии. В последней формуле помним, что все процессы приведены к единому энергетическому эквиваленту. Учтем эффект информационно-энергетических преобразований, то есть введем в эту формулу информационный член $E^{(i)}$, фигурирующий в формуле (12), причем $E^{(i)} = E^{(i)}_{\text{д}} + E^{(i)}_{\text{о}}$, и после преобразований получим следующую формулу:

$$E^{(i)}_{\text{п}} = (E_{\text{д}} + E^{(i)}_{\text{д}}) - (E_{\text{о}} - E^{(i)}_{\text{о}}) \quad (14)$$

Из нее видно, что возрастание производств — ему соответствует возрастание величины $E^{(i)}_{\text{п}}$ — может происходить двумя принципиально различными путями. А именно, в первом члене формулы (14):

$$(E_{\text{д}} + E^{(i)}_{\text{д}}) \quad (15)$$

возрастание второго слагаемого $E^{(i)}_{\text{д}}$ соответствует росту производств за счет введения новых источников энергии, или вообще новых ресурсов, поскольку в данном контексте энергия является синонимом материальных ресурсов вообще. Этот путь соответствует экстенсивному ведению экономики.

Второе слагаемое:

$$-(E_{\text{о}} - E^{(i)}_{\text{о}}) \quad (16)$$

имеет качественно иную природу. А именно: возрастание величины $E^{(i)}_{\text{о}}$ ведет к уменьшению совокупной суммы отходов производств и иных потерь и, таким образом, к увеличению общего его объема, пропорционально величине $E^{(i)}_{\text{п}}$. Это соответствует интенсивному способу ведения экономики. Как видим, принципиальна возможность реализации того пути, связанного с постоянной „подкачкой“ в производственно-экономическую систему новой информации.

Понятно, что для того, чтобы система усвоила этот информационный ресурс, превратив его в продукцию, необходимую людям, нужно, чтобы она сама в процессе производства сначала превратилась в эквивалент энергии, которой так не хватало и которую нужно было чем-то заменить. Это и происходит в действительности путем реализации информации-энергетических трансформаций, механизмы которых были рассмотрены выше.

Итак, одним из следствий подкачки новой информации в производственную систему является уменьшение производственных потерь. Более того, слагаемое $E^{(i)}_{\text{о}}$ в формулах (14) и (16) фактически предстает единственным фактором, результатом действия которого является уменьшение производственных отходов (последнее утверждение является основой полагать, что и экологический эффект, и «устойчивое развитие» являются, по сути, эффектami информационными).

Итак, введение новой информации в производственные системы предстает единственным источником эффективности их функционирования. Более того, из формулы (14) следует, что за счет возрастания информационного члена $E^{(i)}_{\text{о}}$ возможен рост и $E^{(i)}_{\text{п}}$ — иными словами, будет наблюдаться и рост производств при стабилизации и даже уменьшении величины ресурсов $E_{\text{д}}$, вводимых в него извне. Описанный эффект был воссоздан в глобальном масштабе в процессе преодоления энергетического кризиса 1973 года. Именно этот факт и персонифицирует собой настоящий переход к информационному обществу, поведение энергопотребления, приведенное в графике (кривая с максимумом), при условии

неубывания объемов производств, является критерием перехода от индустриального к информационному обществу.

Очевидно, что процесс преобразования информации в энергию (ресурс — в общем смысле) не происходит автоматически. Для того, чтобы действовать этот процесс, необходимо, во-первых, иметь смену информации (то есть не прерывное производство), во-вторых, необходимы новые методы и средства для преобразования, хранения, транспорта и осуществления других манипуляций с информацией, которые делают ее информационным ресурсом. С целью обеспечения данного процесса возникла целая индустрия знаний. Когнитология из философской превратилась в инженерную дисциплину. Недаром в начале 80-х годов говорили про третью научно-техническую и четвертую информационную революцию; от тех времен в обороте остался термин „новая информация технология”.

Именно „сумма новых информационных технологий” и является той технологической средой, в которой по преимуществу и происходит «преобразование информации в энергию»: $I \rightarrow E_c$ — самым последним использованием последней в процессах материального производства.

Таким образом, только те страны, где в свое время динамика энергопотребления приобрел характер, предстанный на приведенном выше графике, имеют основания полагать, что у них не сомненно произошел переход к информационному обществу. Постоянная подмена новой информации является необходимым условием интенсивного, или как говорят в последнее время, устойчивого развития экономики и обществ вообще.

Но является ли это условие достаточным?

Ответ на этот вопрос отрицателен.

Действительно, далеко не любая информация может быть преобразована в полезный ресурс. В рассмотренном выше модельном примере такое преобразование выполнял, выходящий за пределы, один информационный „демон Максвелл”. В реальных же производственно-технологических ситуациях для этой цели создаются целые комплексы организаций и институций (хочется, следуя Селфриджу¹⁸, употребить слово „демонииумы”), обеспечивающие производство и многообразные преобразования информации и ее транспортирование до тех пор, пока она не поступит в социотехническую систему в нужный момент и в нужной форме, адаптированной к восприятию упомянутой системой. Именно такой процесс продуцирования и целенаправленного многообразного преобразования и транспортирования информации и придает ей качества, позволяющие квалифицировать ее к знанию.

Суммируя сказанное, можно констатировать, что в 70-е годы прошлого века произошел информационная революция (четвертая по счету, начиная от изобретения письменности) и началось формирование информационное общество. Термин „information” в поисковике Google 31 августа 2017 года выдал число ссылок 7 миллиардов 850 миллионов, что не много превышает пока только для термина „energy” (1 миллиард 700 миллионов).

Итак, начиная с 1974 года, в качестве субстанций, обеспечивающих механизмы эволюции человеческого сообществ необходимо рассмотреть так же финансовую, так и информационную составляющие. Это и оправдывает введение нами финансово-информационного этапа в Производственном механизме эволюции человеческого сообществ. Следующей задачей является определение релевантной ему меры сложности.

Деньги и эволюция человек

(в поисках параметров эволюции. Продолжение)

Вернемся к определению сложности финансовой механизмы. Учитывая изложенное, мерой его сложности естественно было бы определить объем обращаемых в мире денег в определенный период времени. Однако здесь сразу же возникает целый ряд проблем. Практически невозможно определить количеств, так сказать, «денежных масс», находившихся в обращении в той или иной стране в тот или иной период. Особенно, когда эти периоды достаточно удалены от современности. Также практически невозможно привести различные виды денег к единому «знаменателю», то есть к единой мере. Поэтому в данном случае нам придется довольствоваться непрямыми данными и относительно небольшом промежутке времени. Тем не менее даже эти данные выглядят весьма убедительно.

Мы предлагаем использовать в качестве меры обращения в мире денег суммарный мировой объем ВВП, отгруппированный в доллары. Такие данные, кстати, имеются. Так на сайте <http://businessforecast.by/partners/ratings/470> опубликованы данные по фактической и прогнозной динамике мирового ВВП в 1980-2017 гг. в текущих ценах (рис. 2). По данным Международного валютного фонда (МВФ) на конец августа 2012 г. объем мирового ВВП в текущих ценах возрос в 2011 г. по сравнению с 2010 г. на 10,4% до рекордных 69,660 трлн. долл. По прогнозу МВФ, в 2017 г. мировой ВВП достигнет исторического максимума 94,028 трлн. долл. По сравнению с 2011 г. пока только в текущих ценах возростет на 35%, по сравнению с 1980 г. — в 8,8 раз. Эти данные указывают на полиномиальный (квадратичный) рост суммарного мирового ВВП.

Несколько иные, но качественно схожие данные (к тому же — фактические, не прогнозные), приведены на сайте <https://seosait.com/dinamika-vvp-mira-1970-2016/> (см. Таблицу 5). По этим данным

¹⁸ Selfridge O.G. Pandemonium: a paradigm for learning. In: Mechanisation of thought processes. London. HMSO., 1959. — p. 511-531.

з период 1970-2016 гг. ВВП мир вырос с 3398,7 млрд. долл. до 75212,7 млрд. долл. и увеличился н 71817 млрд. долл. США или в 22,13 р з . Рост п р - метр в 22 р з з 45 лет не может не выглядеть впечатляющим (если не пугающим). Особенно, если учесть, что этот п р метр используется в качестве показателя сложности соответствующего механизма эволюции, период времени 45 лет есть ничто иное, как (по С.П. Клице) собственный масштаб времени и жизни человека, рвный полуширине демографического перехода.

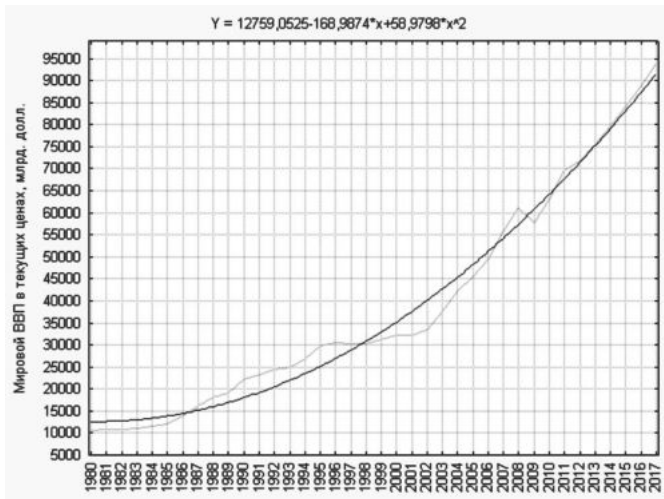


Рис. 2. Динамика мирового ВВП в текущих ценах в 1980-2017 гг., млрд. долл. (фактические данные и полиномиальный тренд)

Это означает, что в указанный период времени сложность системы удвигалась в среднем примерно в течение 10 лет (внчле период роста был даже выше, но потом несколько замедлился, в момент кризиса 2009 года даже был спад). Если (по В.В. Анисимову) к 1980 году темп удвоения сложности, ориентированный на показатель «численность населения» (или «число профессий») составил 45 лет, то финансовый механизм увеличил этот темп более, чем в 4 раза!

Жизнь, окзываясь, значительно сложнее по историческим меркам время необычно усложнилась! И в то же время, психологически не ощущается к кому-то чрезвычайного эволюционного прорыва, коего можно было бы ожидать ввиду взрывного роста сложности эволюционного параметра к объему ВВП в денежном выражении. Почему так происходит? Всё дело в том, что не всякое увеличение сложности системы приводит к ее эволюции. При некоторых обстоятельствах система получает возможность «рзгонять» свою сложность, при этом практически не эволюционируя. Как мы отметили, возрастание сложности является лишь необходимым условием эволюции. Но оно, конечно, не является достаточным. И вот, в наше время мы наблюдаем фактически колоссальный (взрывного) рост сложности мировой системы при очень впечатляющей ее эволюции. Остается в этом вопросе думать.

Таблица 5

Динамика мирового ВВП в 1970–2016 гг.

ВВП мира, 1970-2016 в дол. США						
Год	Население, чел	Прирост населения, %	текущие цены		постоянные цены 1970	
			ВВП, млрд. долл.	ВВП на душу населения, долларов	ВВП, млрд. долл.	ВВП на душу населения, долларов
1970	3 692 492 000	-	3 399	921	3 399	921
1971	3 706 457 821	2,05	3 742	994	3 542	956
1972	3 781 718 408	2,03	4 304	1 121	3 735	988
1973	3 857 446 385	2	5 236	1 337	3 972	1 030
1974	3 933 259 749	1,97	5 931	1 485	4 048	1 029
1975	4 008 830 123	1,92	6 631	1 630	4 081	1 018
1976	4 083 945 282	1,87	7 160	1 728	4 289	1 050
1977	4 158 595 800	1,83	8 054	1 909	4 462	1 073
1978	4 233 141 702	1,79	9 542	2 223	4 658	1 100
1979	4 308 250 508	1,77	10 986	2 515	4 847	1 125
1980	4 384 610 765	1,77	12 265	2 769	4 935	1 126
1981	4 462 520 455	1,78	12 515	2 765	5 032	1 128
1982	4 541 925 121	1,78	12 424	2 697	5 059	1 114
1983	4 622 968 917	1,78	12 745	2 718	5 205	1 126
1984	4 706 050 232	1,8	13 108	2 746	5 443	1 157
1985	4 791 491 780	1,82	13 475	2 772	5 644	1 178
1986	4 896 800 655	2,24	15 636	3 159	5 820	1 188
1987	4 989 444 582	1,85	17 670	3 505	6 030	1 208
1988	5 081 783 861	1,85	19 750	3 845	6 307	1 241
1989	5 174 442 999	1,82	20 649	3 949	6 548	1 266
1990	5 266 008 555	1,77	22 881	4 303	6 744	1 281
1991	5 355 775 164	1,7	24 002	4 440	6 827	1 275
1992	5 443 546 997	1,64	25 673	4 675	6 959	1 278
1993	5 529 445 444	1,58	26 153	4 691	7 066	1 278
1994	5 613 585 107	1,52	27 900	4 931	7 287	1 298
1995	5 696 180 733	1,47	30 828	5 372	7 495	1 316
1996	5 777 240 510	1,42	31 472	5 410	7 740	1 340
1997	5 856 792 928	1,38	31 357	5 319	8 027	1 371
1998	5 934 983 696	1,34	31 123	5 212	8 234	1 387
1999	6 012 341 125	1,3	32 305	5 339	8 511	1 416
2000	6 089 661 543	1,29	33 225	5 423	8 874	1 457
2001	6 167 244 942	1,27	33 049	5 328	9 038	1 466
2002	6 245 056 652	1,26	34 387	5 476	9 231	1 478
2003	6 323 241 327	1,25	38 656	6 081	9 495	1 502
2004	6 401 941 947	1,24	43 535	6 766	9 883	1 544
2005	6 481 317 336	1,24	47 153	7 240	10 240	1 580
2006	6 561 486 555	1,24	51 108	7 753	10 662	1 625
2007	6 642 449 039	1,23	57 520	8 622	11 084	1 669
2008	6 724 189 737	1,23	63 026	9 334	11 248	1 673
2009	6 806 620 067	1,23	59 803	8 752	11 022	1 619
2010	6 889 628 242	1,22	65 349	9 451	11 474	1 665
2011	6 973 291 960	1,21	72 374	10 345	11 798	1 692
2012	7 057 203 973	1,2	73 631	10 402	12 057	1 708
2013	7 141 558 332	1,2	75 566	10 553	12 331	1 727
2014	7 226 178 654	1,18	78 037	10 799	12 726	1 761
2015	7 310 729 390	1,17	73 502	10 054	13 107	1 793
2016	7 397 835 935	1,19	75 213	10 167	13 487	1 823

После отмены «Золотого Стандарта» Федеральная Резервная Система отказалась «отвязаться» от монетарии в виде золота. В результате возникла ситуация неконтролируемого, «притянутого» увеличения сложности системы, не связанного напрямую с ее эволюцией. Это обстоятельство дает нам основание предположить общую сложность системы в виде суммы:

$$C_{total} = C_{evol} + C_{parasite}, \quad (17)$$

где C_{evol} — степень сложности, соответствующая реальному эволюционному процессу; $C_{parasite}$ — паразитная сложность, не связанная с эволюцией; C_{total} — общая сложность системы. Рзумеется, желательнее выполнить более глубокий анализ формулы (17) применительно к современной Мировой Финансовой Системе, определив факторы, влияющие на поведение ее составляющих и стимулирующие рост C_{evol} при уменьшении величины $C_{parasite}$. С этой целью введем величину σ (σ -фактор), как фактор эффективности эволюции системы, согласно формуле:

$$\sigma = \frac{C_{evol}}{C_{total}} = \frac{C_{evol}}{C_{evol} + C_{parasite}}. \quad (18)$$

Из формулы (18) видно, что σ -фактор принимает значения между 0 и 1, достигая максимального значения, равного 1, в идеальном, на практике недостижимом случае, когда $C_{parasite} = 0$. Попыт-

емся оценить величину σ -фактор для долларовой системы. Допустим, что основной вклад в продуцирование $C_{parasite}$ вносит инфляция. Нас интересует смещение системы, позволяющее просчитать уровень инфляции доллара США за определенный период. Воспользуемся ею и просчитаем этот уровень, начиная с 1971 года до 2017 года (рис. 3).

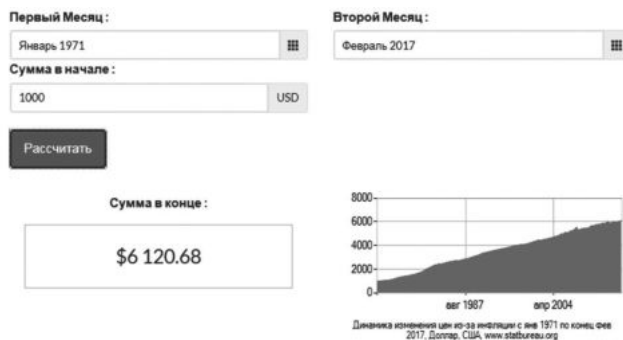


Рис. 3. Расчет динамики инфляции \$ за период «январь 1971 – февраль 2017»

Предположим, что величину эффективности σ можно просчитать как «инфляционное» отношение:

$$\sigma = \frac{1000}{6120,68} \approx 0,16, \quad (19)$$

где 1000 – сумма в начале (январь 1971), 6120.68 – сумма в конце (февраль 2017), учитывая уже инфляцию доллара за данный период. Из этого расчета видно, что, как минимум 83% ресурсов финансовой системы за этот период были потрачены на производство приростной сложности $C_{parasite}$. Возможно, реальная величина σ -фактора не намного меньше, поскольку мы учли всего лишь один «приростный» параметр – инфляционный источник роста $C_{parasite}$ ²⁰. Но даже из этой грубой оценки видно, что «КПД» мировой финансовой системы в лучшем случае пребывает где-то между паровозом и бензиновым автомобилем.

Рассуждается, здесь возникнет много вопросов. И с самым первым – как повысить величину σ -фактора и уменьшить $C_{parasite}$? И вообще: в каких пределах в принципе возможно улучшение эффективности существующей финансовой системы? Не менее важным является вопрос: на кого преимущественно ложится груз «обслуживания» приростной сложности и оборот – кто является, так сказать, основным бенефициаром данного статуса?

Сосредоточимся на первом вопросе. Нам предстоит выяснить, что до отмены «золотого стандарта» именно он, в силу природных свойств золота, выполнял функцию контроля (хотя бы частичного) неограниченного роста члена $C_{parasite}$, который только имитировал эволюцию, по сути, не имея к ней никакого отношения. Однако объективно

¹⁹<https://www.statbureau.org/ru/united-states/inflation-calculators?dateBack=1971-1-1&dateTo=2017-2-1&amount=1000>

²⁰Следует, однако, признать, что реальная величина «золотого стандарта», скорее всего, невозможен. Он, по сути, себя изжил. Нужно что-то другое.

возрастание общей сложности мировой системы (C_{total}) за счет роста члена $C_{parasite}$ в долговременной перспективе огромную, непосильную для неё нагрузку. Для преодоления этого дисбаланса необходимо принятие ряд мер. Мы предполагаем, что в первую очередь необходимо разработать некие новые логи «золотого стандарта», способного функционировать в современной информационно-сетевой среде, на основе фундаментального исследования взаимодействия между информационными и материальными факторами, между C_{evol} и $C_{parasite}$. Однако оставим этот анализ «на потом», сейчас вернемся к нашей хронологии.

Продолжение эволюции: от информационного к сетевому этапу

В нашей хронологической таблице начало сетевой эпохи отнесено к 1990 году. Ее маркерами стали интернет, распад социалистической системы и глобализация.

Скажем несколько слов о том, почему вообще у нас возникла формула сетевого (точнее финансово-информационно-сетевого) этапа в Производственном механизме эволюции.

Приличного рода сетевые структуры постоянно сопровождали всю историю развития человеческого общества. Коммуникационные, в частности, транспортные сети (крупные, речные, морские) функционировали с древнейших времен. Дорога специй, Великий шелковый путь, Путь из Восточной Греции – примеры великих транспортных коммуникаций древности. Эпоха Великих географических открытий XV – XVII веков, в ходе которой европейцами были открыты новые земли и морские маршруты в Африку, Америку, Азию и Океанию, значительно расширил мировую транспортную сеть, промышленная революция XVIII века вызвала к жизни железнодорожный транспорт – новую сетевую транспортную структуру. В 2006 году общая длина железных дорог по данным Международного железнодорожного союза составила более 1,37 млн. км. Начиная с 60-х годов минувшего столетия стали бурно развиваться трубопроводные транспортные сети. По данным «The World Factbook» в 2013 году общая длина мировых магистральных трубопроводов составила более 3,5 млн. км. А если говорить о водопроводных сетях, то они вообще развиваются со времен античности. Общественных дорог мы даже и не говорим – они, действительно, глобальны.

Таким образом, сетевая структура человеческого сообщества является совершенно естественной, начиная с определенного этапа развития. Однако своего апофеоза она достигла с развитием сети электро-связи (или более общо – сети телекоммуникаций) и компьютерно-информационных технологий.

Апофеозом сетевого общества стал интернет, в результате развития которого мировая сеть структур приобрела характер «СЕТИ СЕТЕЙ». Истории зарождения и развития интернет посвящено немало работ, поэтому нам не

ост и влияемся. Google 1 октября 2017 год выдал 4 750 000 000 ссылок на запрос «internet»²¹. В 2017 году количество пользователей интернета в мире составило 3,5 млрд. человек (всё население Земли — примерно 7,3 млрд. человек). Еще в 2014 году количество роботов в интернете с йтов впервые в истории превысило 1 млрд. Согласно данным литического отчет компании Netcraft количество с йтов и персональных блогов и составило 1 022 954 603 узел. Согласно сервису Internet Live Stats, каждую секунду в Google делается более 50 000 поисковых запросов, просматривается 120 000 видео на Youtube, отправляется почти 2,5 млн. электронных писем. Но всё же эти данные не позволяют в полной мере представить себе размеры интернета. Причем, ещё не подсчитаны и не названы «глубокая пещина» (Deep Web), то есть совокупность с йтов, не индексируемых поисковыми. Ключевые слова Википедия, это не синоним «тёмной пещины» (Dark Web или Dark Net), к которой в первую очередь относятся ресурсы, на которых ведётся всевозможная противоправная деятельность. Контент в «Deep Web» может быть как совершенно безобидным (например, онлайн-новости), так и совершенно непригодным для гласного конопопослушной публики (например, торговые площадки чёрного рынка с доступом только через Tor). Конечно, вышеприведённые оценки численности веб-с йтов являются приблизительными. С йты возникают и исчезают, к тому же размеры глубокой и тёмной пещины определить практически невозможно. Поэтому даже приблизительно оценить размеры сети по этому критерию весьма непросто. Но одно несомненно — сеть постоянно растёт. Если одних только веб-с йтов более миллиарда, то отдельных страниц гораздо больше. Например, ресурсе WorldWideWebSize представлен обзор размеров интернета именно по количеству страниц. Методика подсчёта разработана Морисом де Кундером (Maurice de Kunder): сначала система осуществляет поиск в Google и Bing по списку из 50 распространённых английских слов. На основании оценки частоты этих слов в печатных источниках полученные результаты экстраполируются, корректируются, вводятся поправки на совпадения результатов по разным поисковым, и в результате получается некая оценка. На сегодняшний день размер интернета оценивается в 4,58 млрд. отдельных веб-страниц только в англоязычном сегменте сети.

Всемирная сеть оказалась идеальной средой для погружения в неё структур и функций Всемирной Финансовой Сети.

Отметим одну из таких структур: *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications* (SWIFT), произносится как СВифТ — международная межбанковская система передачи информации и

совершения платежей. Также известны как SWIFT-BIC (англ. *Bank Identifier Codes*), BIC code, SWIFT ID или SWIFT code. SWIFT — это кооперативное общество, созданное по бельгийскому законодательству, принимающее его члены, которыми являются более чем 9000 банков из 209 стран (2010 год). В настоящий момент члены SWIFT являются более 10 000 организаций, в том числе около 1000 корпораций. В день через SWIFT проходит более миллиона транзакций о денежных переводах, межбанковских платежах, ценных бумагах. Ежегодно через SWIFT проходит 2,5 млрд. платежей поручений.

После событий 11 сентября 2001 года ЦРУ и Министерство финансов США получили доступ к финансовой информации сети SWIFT под предлогом отслеживания возможных финансовых транзакций террористов. Таким образом, США (и presumably ФРС), как мировой лидер, получили возможность контроля над SWIFT. В последнее время угрозы отключения от SWIFT используются как инструмент политического давления на страны, не подчиняющиеся политике США. Существуют и другие сетевые платежные системы. И вообще интенсивно развивается сетевая экономика, электронные деньги и т. п.

RESUME

Volodymyr Shyrokov

EVOLUTION AS UNIVERSAL NATURAL LAW (PROLEGOMENA TO THE FUTURE GENERAL EVOLUTION THEORY)

Part 2.

In the second part of the work evolutionary aspects of human society are described, which are based on the complexity theory. Theoretical and factual data are presented on population dynamics as an evolutionary factor. It is emphasized that from the 80-90s of the last century the era of the so-called Demographic transition came and the parameter "population size" ceased to play the role of an evolutionary factor.

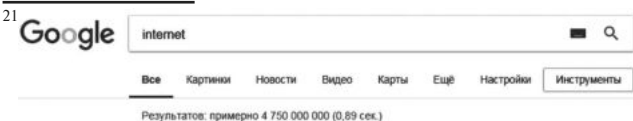
The analysis of evolutionary aspects of the financial stages of the Production mechanism is carried out, namely, the actual financial, financial-information and financial-information-network. A brief chronology of the marked stages is given and their interpretation is presented. The measures of complexity for the above three stages of the Production mechanism are proposed and it is shown that the present stage is characterized by an exponential increase in complexity. The notion of parasitic complexity is introduced, the model is proposed and the efficiency of the world financial system built on the dollar for the period 1971–2016 is given. Thus, it is demonstrated that the evolutionary theory of complexity gives a quite adequate explanation of the causes of crises in the modern world.

It is demonstrated that due to the uncontrolled growth of the complexity of modern financial-information-network mechanism the world is increasingly sliding into a global crisis. This crisis is of an ontological nature and can not be resolved by palliatives. However, palliative measures can slow down the slide into a crisis and provide the time necessary to find and develop principal decisions.

In this paper, from the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the "doctrine of controlled chaos" is analyzed, and possible other options for combating crises are also presented. Among these options, the most promising are the options associated with managed complexity, scientific and technological innovation and quantum information. From the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the hypotheses of technological singularity and transhumanism are analyzed.

The author draws attention to the danger that uncontrollable development of critical phenomena brings the world to a global catastrophe.

The author considers it necessary to create a universal international transdisciplinary research institution in this field and organize research on the general theory of the evolution and its applications.

²¹ Google 
Результатов: примерно 4 750 000 000 (0,89 сек.)

**Y. Stoian, A. Pankratov, T. Romanova**

Institute for Mechanical Engineering Problems,
National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Mathematical Modeling
and Optimal Design, Kharkiv, Ukraine, urikpostg@gmail.com;
Institute for Mechanical Engineering Problems, National Academy of Sciences of Ukraine,
Department of Mathematical Modeling and Optimal Design, Kharkiv, Ukraine, impankratov@mail.ru;
Institute for Mechanical Engineering Problems, National Academy of Sciences of Ukraine,
Department of Mathematical Modeling and Optimal Design, Kharkiv, Ukraine, sherom@kharkov.ua

OPTIMAL CLUSTERING OF POLYHEDRA

Cutting and packing problems have a wide spectrum of applications. When dealing with polyhedra, an important problem is the identification of the optimal clustering of two objects. Within this paper we consider a containing region (cuboid, sphere, cylinder) of variable sizes and two polyhedra that can be continuously translated and rotated. In addition minimal allowable distances between objects and between each object and the frontier of a containing region may be imposed. The objects should be arranged within a containing region such that a given objective will reach its minimal value. We consider a volume or metrical characteristics of the containing region as the objective, which depends on the variable parameters associated with the objects and the containing region. The paper presents a mathematical model in the form of nonlinear optimisation problem, based on the phi-function technique. We also developed a solution algorithm and provide new benchmark instances of finding the containing region that has either minimal volume or homothetic coefficient of a given containing region.

MINIMUM CONTAINMENT, POLYHEDRA CLUSTERUNG, MATHEMATICAL MODELING, NONLINEAR OPTIMIZATION.

Ю.Е. Стоян, А.В. Пнкр тов, Т.Е. Ром нов . ОПТИМАЛЬНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ МНОГОГРАННИКОВ. З д чи уп ковки и р скроя имеют широкий спектр применения. При р змещении многогр нников в жной з д чей является поиск оптим льной кл стериз ции двух объектов. В к честве обл сти р змещения р ссм трив ется контейнер (кубоид, ш р, цилиндр) с переменными метрическими х р ктеристик ми и дв многогр нник , которые допуск ют непрерывные тр нсяции и вр щения. Учтив - ются огр ничения н миним льно допустимые р сстояния между объект ми и между к ждым объектом и гр ницей обл сти р змещения. Объекты должны быть р змещены в контейнере т ким обр зом, чтобы з д нн я функция цели достиг л миним льного зн чения. В к честве функции цели р ссм трив ется объем или метрические х р ктеристики контейнер . Функция цели з висит от переменных п р метров, з висящих от объектов р змещения и вид контейнер . В ст тье предст влен м тем тическ я модель в виде з д чи нелинейной оптимиз ции, основ нн я н методе phi-функций. Предл г ется лгоритм решения и приводятся новые результ ты для поиск контейнер миним льного объема или с миним льным коэффицентом гомотетии.

МИНИМАЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ, КЛАСТЕРИЗАЦИЯ МНОГОГРАННИКОВ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Ю. Є. Стоян, О.В. Пнкр тов, Т.Є. Ром нов . ОПТИМАЛЬНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БАГАТОГРАННИКІВ. З д чи уп ковки і розкрою м ють широкий спектр з стосув ння. При розміщенні б г тогр нників в живлюю з д чею є зн ходження оптим льної кл стериз ції двох об'єктів. У ст тті розгляд еться контейнер (кубоїд, куля, циліндр) зі змінними метричними х р ктеристик ми т дв б г тогр нник , які допуск ють безперервні тр нсяції т оберт ння. Вр ховуються обмеження н мінім льно допустимі відст ні між об'єкт ми і між кожним об'єктом і гр ницею обл сти. Об'єкти повинні бути розт шов ні в контейнері т ким чином, щоб з д н функція мети досяг л мінім льного зн чення. Як функція мети розгляд еться об'єм бо метричні х р ктеристики контейнер . Функція мети з лежить від змінних п р метрів, з лежних від об'єктів і типу контейнер . У ст тті предст влен м тем тичн модель у вигляді з д чи нелінійної оптимі з ції як з снов н н методі phi-функцій. З пропозов но лгоритм розв'яз ння т н ведено нові результ ти пошуку контейнеру мінім льного об'єму бо з мінім льним коефіцієнтом гомотетії.

МІНІМАЛЬНЄ ВКЛЮЧЕННЯ, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БАГАТОГРАННИКІВ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НЕЛІНІЙНА ОПТИМІЗАЦІЯ

Introduction

Packing problems are interesting theoretically and have many important applications. Applications in industry include such problems as autonomously packing the hazardous waste into drums, which should then be melted in a plasma arc furnace, determining the placement of polycrystalline silicon nuggets during crucible

packing as a key component of a robotic system to automated crucible packing process in semiconductor wafer production, creating the optimization frameworks for powder and FDM-based 3D printing that seeks to save printing time and the support material required to print 3D shapes, parts nesting for shipbuilding, glass cutting, furniture and other goods. It is well known that even

the one-dimensional version of the problem of finding the optimal usage of a given resource, the classical knapsack problem, belongs to the class of NP-hard optimisation problems. For this reason, most of the work related to cutting and packing problems employ heuristic approaches. Nevertheless, the development of exact solution methods is an important task to broaden the range of optimal solvable cases.

One of the successful concepts in the case of irregular objects, which lends itself to exact approaches, is phi-functions [1], [2].

The new functions, called quasi-phi-functions [3], can be described by analytical formulas that are substantially simpler than those used for phi-functions, for some types of objects, in particular, for polyhedra. In addition we construct an adjusted phi-function for describing distance constraints for a pair of polyhedra.

Using this approach leads, in general, to multi-extremal non-linear optimisation problems. Our tools permit the modelling of continuous object rotations, non-overlapping, containment and distance constraints. The concept allows the computation of high quality local optima, and in some cases, the global optimum.

In this paper, we address the problem of determining the minimum size containing region to house two polyhedra and use the phi-function technique to achieve this aim. In detail, we will investigate the following problem:

Optimal clustering 3D-problem. Given two polyhedra where free continuous rotations of the objects are permitted, find the minimal sizes of a given containing region (cuboid, sphere, or cylinder) according to a given objective and placement parameters of two objects such that the objects are placed completely inside the containing region without overlap and taking in to account allowable distances between objects. We consider a number of frequently occurring objectives, i.e. minimum volume and homothetic coefficient of a given containing region.

1. Related work

The containment problem is useful in the design of packing solution approaches in a number of ways. Some researchers develop approaches based on mathematical modeling and general optimisation procedures; for example see [4–9]. Egeblad et al [6] present an efficient solution method for packing polyhedra within the bounds of a polyhedron containing region. Utilization of containing region space is improved by an average of more than 14 percentage points compared to previous methods proposed in [10]. However, in the experiments the largest total volume of overlap allowed in a solution corresponds to one percent of the total volume of all polyhedra for the given problem.

Liu et al [11] propose a new constructive algorithm, called HAPE3D, which is a heuristic algorithm based on the principle of minimum total potential energy for the 3D irregular packing problem, involving packing a set of irregularly shaped polyhedrons into a box-shaped containing region with fixed width and length

but unconstrained height. The objective is to allocate all the polyhedrons in the containing region, and thus minimize the waste or maximize profit.

The objective of A. Pasha's [12] task was to autonomously pack the hazardous waste into fifty-five gallon drums, which would then be melted in a plasma arc furnace. Central to the task was the development of a bin packing algorithm that was capable of finding near optimal packing configurations for a set of irregular shaped objects.

Vivek A. Et al [13] present an algorithm to automatically determine the placement of polycrystalline silicon nuggets during crucible packing is a key component of a robotic system to automated crucible packing process in semiconductor wafer production. To solve this problem of packing 3-D highly irregular objects with industrial constraints, an on-line model-free packing algorithm has been developed. It is based on the approach called Virtual Trial and Error.

Vanek et al [14] propose an optimization framework for 3D printing that seeks to save printing time and the support material required to print 3D shapes. Authors use the tabu search optimization [15] that has polynomial complexity to find a near to optimal solution and that has been used with success for packing problems.

Most of the approaches dealing with the interaction of two (or a few) objects are used in placement algorithms for larger instances as local decision rules. Some of the earliest approaches to irregular packing problems used the strategy of first clustering pieces within easier to handle shapes, for example [16]. However, such approaches lost popularity as computational speed and methodology improvements facilitated the direct packing of polyhedra. There are recent examples where the packing process requires the initial clustering. Further, the more successful placement heuristics use hole filling strategies that is the equivalent of the containment problem described here.

2. The concept of phi-functions

Packing problems involving irregular shapes require the modelling of interaction of two objects with respect to containment, overlap constraints and allowable distances. In this section we describe the core phi-function concepts including the definition of a phi-object, describing a placement objects and a containing regions, identify the interactions between objects. Finally we describe the containment and non-overlapping constraints taking into account allowable distances using phi-functions and quasi-phi-functions.

2.1. Placement objects. We assume that any placement object Q (an object which has to be placed into a containing region) considered here, is a three-dimensional phi-object [1], where a phi-object is a canonically closed point set $Q \subset R^3$ ($Q = cl^*(Q) = cl(int(Q))$) having the same homothopic type as its interior. As placement objects we consider, in general, non-convex polyhedra.

The location and orientation of each polyhedron Q is defined by a variable vector of its placement

parameters (v, θ) . Here $v = (x, y, z)$ is a translation vector, $\theta = (\theta^1, \theta^2, \theta^3)$ is a vector of rotation parameters, where $\theta^1, \theta^2, \theta^3$ are appropriate angles from axis OX to OY , from axis OY to OZ and from axis OX to OZ in the local coordinate system of a polyhedron $\mathbb{Q}$.

The translated by vector v and rotated by angles $\theta^1, \theta^2, \theta^3$, a polyhedron $\mathbb{Q}$ is denoted as $\mathbb{Q}(u) = \{p \in R^3 : p = v + M(\theta) \cdot p^0, \forall p^0 \in \mathbb{Q}^0\}$, where $\mathbb{Q}^0$ denotes the non-translated and non-rotated polyhedron $\mathbb{Q}$, $M(\theta)$ is a standart rotation matrix.

Assuming that non-convex polyhedron $\mathbb{Q}$ may be presented as a union of convex polyhedra. Various algorithms can be applied to solve the problem, for example, the algorithm proposed in [17]. For the purposes of this paper, we assume the decomposition of the polyhedra is known.

With each convex polyhedron that form a polyhedron $\mathbb{Q}$ we associate the local coordinate system which coincides with the local coordinate system of a polyhedron $\mathbb{Q}$. Note, that each convex polyhedron $K_i \subset \mathbb{Q}$ is defined by its vertices p_s^i , $s = 1, \dots, m_i$, $i \in I_q$, in the local coordinate system of $\mathbb{Q}$.

We assume here that *placement objects* have *fixed metrical characteristics* and *variable placement parameters* $(x, y, z, \theta^1, \theta^2, \theta^3)$.

2.2. Containing regions. We consider the following containing regions: a) a cuboid: $\mathbf{B} = \{(x, y, z) \in R^3 \mid \min\{x+l, -x+l, y+w, -y+w, z+h, -z+h\} \geq 0\}$ where variables l, w and h are the dimensions of the cuboid respectively; b) a sphere of variable radius r : $\mathbf{S} = \{(x, y, z) \in R^3 \mid r^2 - x^2 - y^2 - z^2 \geq 0\}$; c) a cylinder of radius λr and height λh , λ is a variable homothetic coefficient:

$\mathbf{C} = \{(x, y, z) \in R^3 \mid \min\{(\lambda r)^2 - x^2 - y^2, -z + \lambda h, z + \lambda h\} \geq 0\}$, subject to for original containing region $\lambda = 1$.

Containing region Ω have fixed *pacement parameters* $(0, 0, 0)$ and variable *metrical characteristics* p defined above. Hereinafter, we denote a *containing region* $\Omega = \Omega(p)$.

2.3. Description of relationships between objects. In order to feasibly place two objects within a containing region, we need to formalise placement constraints.

We employ the phi-function technique to describe analytically the placement constraints.

Let $A = \bigcup_{i=1}^{n_A} A_i$, and $B = \bigcup_{j=1}^{n_B} B_j$, be non-convex polyhedra, where A_i, B_j are convex polyhedra.

Containment constraints

Phi-functions allow us to distinguish the following three cases: A and B are intersecting so that A and B have common interior points; A and B do not intersect, i. e. A and B do not have common points; A and B are in contact, i. e. A and B have only common frontier points. By definition, the phi-function of A and B is everywhere defined for a continuous function that possesses the following characteristics: $\Phi_{AB} > 0$ if $A \cap B = \emptyset$; $\Phi_{AB} = 0$

if $\text{int } A \cap \text{int } B = \emptyset$ and $\text{fr } A \cap \text{fr } B \neq \emptyset$; $\Phi_{AB} < 0$ if $\text{int } A \cap \text{int } B \neq \emptyset$, where $\text{int } A$, $\text{fr } A$ is the interior and the frontier of object A . We employ phi-functions for the description of the containment relationship $A \subseteq B$ as follows: $\Phi_{AB^*} \geq 0$, where $B^* = R^3 \setminus \text{int } B$. See [1], [2] for definitions and basic features of phi-functions.

For mathematical modelling of containment constraints of form $A \subset \Omega \Leftrightarrow \text{int } A \cap \Omega^* = \emptyset$

It is used a phi-function $\Phi_{A\Omega^*}$ for non-convex polyhedron A and object $\Omega^* = R^3 \setminus \text{int } \Omega$, that can be represented in the following form depending on the type of the containing region

$$\Phi^{A\Omega^*} = \begin{cases} \Phi^{AS^*}, & \text{if } \Omega = \mathbf{S} \\ \Phi^{AC^*}, & \text{if } \Omega = \mathbf{C} \\ \Phi^{AB^*}, & \text{if } \Omega = \mathbf{B} \end{cases}$$

The phi-function for non-convex polyhedron A and object Ω^* has the form

$$\Phi^{A\Omega^*} = \min\{\Phi^{A_1\Omega^*}, \Phi^{A_2\Omega^*}, \dots, \Phi^{A_{n_A}\Omega^*}\}$$

Where $\Phi^{A_i\Omega^*}$ is a phi-function for a convex polyhedron A_i and object Ω^* .

Phi-function for A_i and object $\mathbf{S}^* = R^3 / \text{int } \mathbf{S}$.

$$\Phi^{A_i\mathbf{S}^*} = \min\{\varphi_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\},$$

$$\varphi_s = (\lambda r)^2 - (p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2 - (p_{sz}^i)^2$$

Phi-function for A_i and object $\mathbf{C}^* = R^3 / \text{int } \mathbf{C}$.

$$\Phi^{A_i\mathbf{C}^*} = \min\{\mu, \psi, \omega\},$$

$$\mu = \min\{\mu_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\}, \mu_s = r^2 - (p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2,$$

$$\psi = \min\{\psi_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\}, \psi_s = p_{sz}^i + h,$$

$$\omega = \min\{\omega_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\}, \omega_s = -p_{sz}^i + h,$$

Phi-function for A_i and object $\mathbf{B}^* = R^3 / \text{int } \mathbf{B}$.

$$\Phi^{A_i\mathbf{B}^*} = \min\{\min_{1 \leq s \leq m_{A_i}} \eta_{sj}, j = 1, \dots, 6\},$$

$$\eta_{s1} = x_1 + p_{sx}^i, \eta_{s2} = -(x_1 + p_{sx}^i) + l, \eta_{s3} = y_1 + p_{sy}^i,$$

$$\eta_{s4} = -(y_1 + p_{sy}^i) + w, \eta_{s5} = z_1 + p_{sz}^i, \eta_{s6} = -(z_1 + p_{sz}^i) + h.$$

Non-overlapping constraints

For mathematical modelling of non-overlapping constraint $\text{int } A \cap \text{int } B = \emptyset$ a quasi-phi-function for a pair of non-convex polyhedra A and B may be defined in the form

$$\Phi'_{AB}(u_A, u_B, u_{AB}) =$$

$$= \min\{\Phi'_{ij}(u_A, u_B, u_{ij}), i = 1, \dots, n_A, j = 1, \dots, n_B\}, \quad (1)$$

where $\Phi'_{AB}(u_A, u_B, u_{ij})$ is a quasi-phi-function and u_{ij} is a vector of additional variables for for a pair of convex polyhedra $A_i(u_A)$ and $B_j(u_B)$, $i = 1, \dots, n_A$, $j = 1, \dots, n_B$, $u_{AB} = (u_{ij}, i = 1, \dots, n_A, j = 1, \dots, n_B)$.

It should be noted that replacing quasi-phi-functions $\Phi'^{A_i B_j}$ in (1) by adjusted $\hat{\Phi}'^{A_i B_j}$ quasi-phi-functions for $i=1, \dots, n_A$, $j=1, \dots, n_B$, we get an adjusted quasi-phi-function $\hat{\Phi}'_{AB}(u_A, u_B, u')$ for non-convex polyhedra $A(u_A)$ and $B(u_B)$.

Let us consider two convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$, given by their vertices p_i^1 , $i=1, \dots, m_1$, and p_j^2 , $j=1, \dots, m_2$.

A radical free quasi-phi-function $\Phi'^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p)$ for convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ may be defined by formula [3]

$$\begin{aligned} \Phi'^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) = \\ = \min\{\Phi^{A_1 P}(u_1, u_p), \Phi^{B_2 P^*}(u_2, u_p)\}, \end{aligned} \quad (2)$$

where $\Phi^{A_1 P}(u_1, u_p)$ is a phi-function for $A_1(u_1)$ and a half-space $P(u_p)$, $\Phi^{B_2 P^*}(u_2, u_p)$ is a phi-function for $B_2(u_2)$ and a half-space $P^*(u_p) = R^3 \setminus \text{int } P(u_p)$, where $\text{int } P(u_p)$ is the interior of $P(u_p)$. Here $P(u_p) = \{(x, y, z) : \psi_p = \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma \cdot z + \mu_p \leq 0\}$ is a half-space, where $\alpha = \sin \theta_{yp}$, $\beta = -\sin \theta_{xp} \cdot \cos \theta_{yp}$, $\gamma = \cos \theta_{xp} \cdot \cos \theta_{yp}$ (note that $\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1$) and $u_p = (\theta_{xp}, \theta_{yp}, \mu_p)$, θ_{xp} and θ_{yp} are appropriate variable angles of the half-space $P(u_p)$ from axis OY to OZ and from axis OX to OZ in the fixed coordinate system in R^3 .

We follow [2] to define phi-function

$$\Phi^{A_1 P}(u_1, u_p) = \min_{1 \leq i \leq m_1} \psi_p(p_i^1)$$

and phi-function

$$\Phi^{B_2 P^*}(u_2, u_p) = \min_{1 \leq j \leq m_2} (-\psi_p(p_j^2)).$$

We note that if $\Phi'^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) > 0$ then a plane

$$L_p = \{(x, y, z) : \psi_p(u_p) = 0\}$$

is a separating plane for $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$

Thus, if two convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ do not have common points then there always exists additional variables $u_p = (\theta_{xp}, \theta_{yp}, \mu_p)$ such that $\max_{u_p} \Phi'^{A_1 B_2} > 0$. Therefore,

$$\max_{u_p} \Phi'^{A_1 B_2} \geq 0 \Leftrightarrow \text{int } A_1(u_1) \cap \text{int } B_2(u_2) = \emptyset.$$

Further we use the following important characteristic of a *quasi-phi-function*: if $\Phi'^{A_1 B_2} \geq 0$ for some u_p , then $\text{int } A_1(u_1) \cap \text{int } B_2(u_2) = \emptyset$ (see [3] for details).

Distance constraints

We take into account *distance constraints* replacing quasi-phi-functions in *non-overlapping* with adjusted quasi-phi-functions and phi-functions in *containment constraints* with adjusted phi-functions.

By definition an adjusted *phi-function* of A and B is an everywhere defined continuous function $\hat{\Phi}^{AB}$, such that $\hat{\Phi}^{AB} > 0$, if $\text{dist}(A, B) > \rho$, $\hat{\Phi}^{AB} = 0$, if $\text{dist}(A, B) = \rho$, $\hat{\Phi}^{AB} < 0$, if $\text{dist}(A, B) < \rho$, where ρ is the minimum allowable distance between objects A and B .

Function $\hat{\Phi}^{AB}(u_A, u_B, u')$ is called an adjusted quasi-phi-function for objects $A(u_A)$ and $B(u_B)$, if function

$\max_{u' \in U} \hat{\Phi}^{AB}(u_A, u_B, u')$ is an adjusted phi-function for the objects.

In particular, we have $\text{dist}(A, B) \geq \rho \Leftrightarrow \hat{\Phi}^{AB} \geq 0$.

Let minimal allowable distance ρ_1 between a convex polyhedron A_i and the *object* Ω^* be given. To describe distance constraint, $\text{dist}(A_i, \Omega^*) \geq \rho_1$, we use adjusted radical free phi-function $\hat{\Phi}_1$ for a convex polyhedron A_i and the object Ω^* defined by

$$\hat{\Phi}^{A_i \Omega^*} = \tilde{\Phi}^{A_i \Omega^*} - \rho_1.$$

where $\tilde{\Phi}^{A_i \Omega^*}$ is a normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object Ω^* .

Normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object S^* :

$$\tilde{\Phi}^{A_i S^*} = \min\{\tilde{\varphi}_s, s=1, \dots, m_{A_i}\}, \quad (3)$$

$$\tilde{\varphi}_s = r - \sqrt{(p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2 - (p_{sz}^i)^2}, \quad (4)$$

Normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object C^*

$$\tilde{\Phi}^{A_i C^*} = \min\{\tilde{\mu}, \psi, \omega\}, \quad \tilde{\mu} = \min\{\tilde{\mu}_s, s=1, \dots, m_{A_i}\},$$

$$\tilde{\mu}_s = r - \sqrt{(p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2}, \quad (5)$$

$$\psi = \min\{\psi_s, s=1, \dots, m_{A_i}\}, \quad \psi_s = p_{sz}^i + h,$$

$$\omega = \min\{\omega_s, s=1, \dots, m_{A_i}\}, \quad \omega_s = -p_{sz}^i + h,$$

Normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object B^*

$$\Phi^{A_i B^*} = \min\{\min_{1 \leq s \leq m_{A_i}} \eta_{sj}, j=1, \dots, 6\},$$

$$\begin{aligned} \eta_{s1} = x_1 + p_{sx}^i, \quad \eta_{s2} = -(x_1 + p_{sx}^i) + l, \quad \eta_{s3} = y_1 + p_{sy}^i, \\ \eta_{s4} = -(y_1 + p_{sy}^i) + w, \quad \eta_{s5} = z_1 + p_{sz}^i, \quad \eta_{s6} = -(z_1 + p_{sz}^i) + h. \end{aligned}$$

Let minimal allowable distance ρ_{12} between two convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ be given. To describe a *distance* constraint, $\text{dist}(A_1, B_2) \geq \rho_{12}$, we use an adjusted radical free quasi-phi-function $\hat{\Phi}'_{12}$ for convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ derived by

$$\hat{\Phi}'^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) = \Phi'^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) - 0.5\rho_{12}. \quad (6)$$

Thus, $\max_{u' \in U} \hat{\Phi}'^{A_1 B_2} \geq 0 \Leftrightarrow \text{dist}(A_1, B_2) \geq \rho_{12}$. It follows from (2) and (6) that

$$\Phi'^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) - 0.5\rho_{12} \geq 0 \Rightarrow \text{dist}(A_1, B_2) \geq \rho_{12}.$$

3. Mathematical model

In terms of phi-functions we can formulate the *optimal clustering problem* as a NLP problem:

$$F(u^*) = \min\{F(u) : u \in W\}, \quad (7)$$

$$W = \{u \in R^\sigma : \hat{\Phi}^{\Omega^* A} \geq 0, \hat{\Phi}^{\Omega^* B} \geq 0, \hat{\Phi}^{AB} \geq 0\}, \quad (8)$$

where $F(u)$ is a polynomial function, $u = (p, u_A, u_B) \in R^\sigma$ is a vector of variables, R^σ is Euclidean space of σ dimension, p is a vector of variable metrical characteristics of Ω ,

$$(u_A, u_B) = (x_A, y_A, z_A, \theta_A^1, \theta_A^2, \theta_A^3, x_B, y_B, z_B, \theta_B^1, \theta_B^2, \theta_B^3)$$

is vector of variable placement parameters of objects A and B , W denotes the corresponding set of feasible solutions (the solution space), $\widehat{\Phi}^{AB}$ is an adjusted quasi-phi-function for objects A and B taking into account a given minimal allowable distance ρ between the objects, $\widehat{\Phi}^{\Omega^*A}$ is an adjusted phi-function for objects A and Ω^* , $\widehat{\Phi}^{\Omega^*B}$ is an adjusted phi-function for objects B and Ω^* taking into account a given minimal allowable distances ρ' between each object and the frontier of Ω . It should be noted that if $\rho = 0$ and $\rho' = 0$, then we use the original phi-function and quasi-phi-functions instead of the adjusted phi-functions and adjusted quasi-phi-functions in (8).

We consider three realizations of problem (7)-(8), denoted by P1, P2, P3, with respect to the shape of the containing region Ω and the form of the objective function $F(u)$:

P1: $\Omega \equiv B$, $F_1(u) = l \cdot w \cdot h$ (volume of B):

$$u = (l, w, h, u_A, u_B) \in R^\sigma,$$

$$\sigma = 15$$

P2: $\Omega \equiv S$, $F_2(u) = r$ (radius of S):

$$u = (r, u_A, u_B) \in R^\sigma,$$

$$\sigma = 13$$

P3: $\Omega \equiv C$, $F_3(u) = \lambda$ (homothety coefficient of C):

$$u = (\lambda, u_A, u_B) \in R^\sigma,$$

$$\sigma = 13$$

Each quasi-phi-function inequality in (8) is presented by a system of inequalities with infinitely differentiable functions. Our model (7)-(8) is a nonconvex and continuous nonlinear programming problem. Problem (7)-(8) is an exact formulation for the polyhedron packing problem. It contains all glosphere optimal solutions. It is possible, at least in theory, to use a global solver for the nonlinear programming problem and obtain a solution which is an optimal packing.

However in practice, we deal with a large number of variables and a huge number of inequalities in our model. As a result, finding a locally optimal solution becomes an unrealistic task for the available state of the art NLP solvers. In order to search for a "good" locally optimal polyhedron packing within a reasonable computational time we propose here a solution algorithm, which can be considered as an *extension* of the solution algorithm developed in [3] for the optimal ellipse packing problem.

4. General solution strategy

As discussed in the previous section, solving the polyhedron packing problem using an NLP solver is not practical. Instead we look to identify multiple starting solutions and search for the best of found local optimal solutions. Our multistart solution strategy involves the following steps:

1. Generate a set of vectors $\zeta^0 = (p^0, u_1^0, u_2^0, \dots, u_N^0)$ of feasible placement parameters $(u_1^0, u_2^0, \dots, u_N^0)$ of our polyhedra placed into the containing region Ω^0 of starting dimension p^0 in the problem (7)-(8). Various algorithms exist for obtaining a feasible solution for example [18]. We employ here the algorithm (called FSPA-S), which is described in Subsection 5.1.

2. Form an appropriate set $\{u^0\}$ of feasible starting points $u^0 = (\zeta^0, \tau^0)$ for problem (7)-(8), using the set $\{\zeta^0\}$ obtained at Step 1. We use a special procedure (FAPA-S) to generate a vector τ^0 of additional variables.

3. Search for a local minimum of the objective function $F(u)$ in problem (7)-(8), starting from each point from the set $\{u^0\}$ obtained at Step 2.

4. Choose the best local minimum from those found at Step 3 as the final solution of the problem (7)-(8).

The actual search for a local minimum in all our optimisation procedures (to realise steps 1-3) is performed by IPOPT [19], which is available at an open access noncommercial software depository (<https://projects.coin-or.org/Ipopt>).

5. Starting Point Algorithm (FSPA-S)

In order to find a vector of starting feasible placement parameters of our polyhedra we apply an algorithm, which is based on homothetic transformation of spheres. The algorithm consists of the following steps:

1. Choose starting dimensions p^0 for our containing region. They must be sufficiently large to allow for a placement of all circumscribed spheres S_q , $q = 1, 2, \dots, N$, within the containing region Ω^0 .

2. Generate within the containing region Ω^0 a pair of randomly chosen center points (x_q^0, y_q^0, z_q^0) , $q = 1, 2$, of circumscribed spheres S_q of radius λr_q . We assume here that λ is a homothetic coefficient for all our spheres S_q and $0 \leq \lambda \leq 1$.

3. Assuming that $p = p^0$, and starting from the point $u^0 = (x_1^0, y_1^0, z_1^0, x_2^0, y_2^0, z_2^0, \lambda^0 = 0)$, solve the following *auxiliary* nonlinear programming problem:

$$\max_{\tilde{u} \in W} \lambda, \quad (9)$$

$$\tilde{W} = \{\tilde{u} \in R^7 : \widehat{\Phi}^{S_1 S_2} \geq 0, \widehat{\Phi}^{S_1 \Omega^*} \geq 0,$$

$$\widehat{\Phi}^{S_2 \Omega^*} \geq 0, 1 - \lambda \geq 0, \lambda \geq 0\}, \quad (10)$$

где $\tilde{u} = (x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \lambda)$,

$$\begin{aligned} \widehat{\Phi}^{S_1 S_2} &= (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + \\ &+ (z_1 - z_2)^2 - \lambda^2 (r_1 + \rho_1^- + r_2)^2, \end{aligned} \quad (11)$$

is an adjusted phi-function for a sphere S_1 of radius λr_1 and a sphere S_2 of radius λr_2 .

$$\widehat{\Phi}^{S_q \Omega^0^*}(u_q) = \begin{cases} \widehat{\Phi}^{S_q S^{0^*}}(u_q), & \text{если } \Omega = S \\ \widehat{\Phi}^{S_q C^{0^*}}(u_q), & \text{если } \Omega = C, \\ \widehat{\Phi}^{S_q B^{0^*}}(u_q), & \text{если } \Omega = B \end{cases} \quad (12)$$

$$\widehat{\Phi}^{S_q S^{0^*}} = (r^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-))^2 - (x_q)^2 - (y_q)^2 - (z_q)^2,$$

$$\widehat{\Phi}^{S_q C^{0^*}} = \min\{(\eta^0 r - \lambda(r_q + \rho_q^-))^2 - (x_q)^2 - (y_q)^2,$$

$$z_q + \eta^0 h - \lambda(r_q + \rho_q^-), -z_q + \eta^0 h - \lambda(r_q + \rho_q^-)\},$$

$$\widehat{\Phi}^{S_q B^{0^*}} = \min\{\varphi_{kq}, k = 1, \dots, 6\},$$

$$\varphi_{1q} = -x_q + l^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-), \quad \varphi_{2q} = x_q - \lambda(r_q + \rho_q^-),$$

$$\varphi_{3q} = -y_q + w^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-),$$

$$\varphi_{4q} = y_q - \lambda(r_q + \rho_q^-), \quad \varphi_{5q} = -z_q + h^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-),$$

$$\varphi_{4q} = z_q - \lambda(r_q + \rho_q^-)$$

$\Phi^{S_q \Omega^*}$ is an adjusted phi-function for a sphere S_q of radius λr_q and the object Ω^* .

We denote a point of global maximum of problem (9)-(10) by $\tilde{u}^* = (\tilde{x}_1^*, \tilde{y}_1^*, \tilde{z}_1^*, \tilde{x}_2^*, \tilde{y}_2^*, \tilde{z}_2^*, \tilde{\lambda}^* = 1)$.

4. Form a vector of feasible parameters

$$\zeta^0 = (p^0, u_1^0, u_2^0),$$

assuming that

$u_q^0 = (x_q^0, y_q^0, z_q^0, \theta_q^0)$, $(x_q^0, y_q^0, z_q^0) = (x_q^*, y_q^*, z_q^*)$ and θ_q^0 is a vector of randomly generated rotation parameters of polyhedra $\mathbb{Q}_q, q=1,2$.

Our FPPA algorithm returns the vector ζ^0 to generate a starting point for a subsequent search for a local minimum of the problem (7)-(8).

6. Computational experiments

The results include a number of examples to demonstrate the effectiveness of the methodology. In all cases the input data of the example has been provided in [10]. For local optimisation, our programs use IPOPT (<https://projects.coin-or.org/Ipopt>) (see [19]) that only guarantees a local optimum for non-linear programming problems. We use computer AMD Athlon 64 X2 5200+.

Example 1 Clustering of objects A and B into a cuboid B , we believe this optimal but not proved, problem **P1**, see Figure 1, $F(u^*) = l^* \cdot w^* \cdot h^* = 1502.0771$, where $l^* = 16.4725$, $w^* = 4.000$, $h^* = 22.7966$ Running time is 3.21 sec.

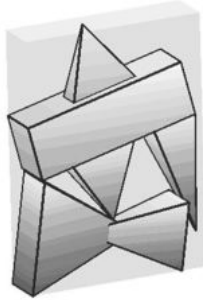


Fig. 1. Solution of problem P1 in Example 1

Example 2 Clustering of objects A and B into a cuboid B , we believe this optimal but not proved, problem **P1**, see Figure 2, $F(u^*) = l^* \cdot w^* \cdot h^* = 1399.9999$, where $l^* = 10.000$, $w^* = 10.000$, $h^* = 14.000$. Running time is 8.674 sec.



Fig. 2. Solution of problem P1 in Example 4

Example 3 Clustering of objects A and B into a cuboid B , we believe this optimal but not proved, problem **P1**, see Figure 3, $F(u^*) = l^* \cdot w^* \cdot h^* = 1152.000$, where $l^* = 4.000$, $w^* = 16.000$, $h^* = 18.000$ Running time is 4.93 sec.



Fig. 3. Solution of problem P1 in Example 5

Example 4 Clustering of objects A and B into a sphere S , we believe this optimal but not proved, problem **P2**, see Figure 4, $F(u^*) = r^* = 12.2274$, Running time is 2.351 sec.

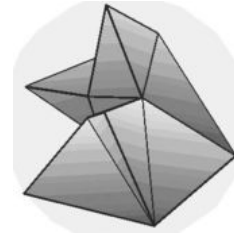


Fig. 4. Solution of problem P2 in Example 4

Example 5 Clustering of objects A and B into a sphere S , we believe this optimal but not proved, problem **P2**, see Figure 5, $F(u^*) = r^* = 11.2996$. Running time is 2.351 sec.

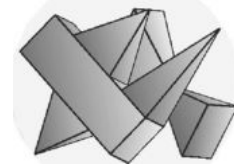


Fig. 5. Solution of problem P1 in Example 5

Example 6 Clustering of objects A and B into a cylinder C , problem **P3**, see Figure 6, $F(u^*) = \lambda^* = 0.682$. provided that $r=20$, $h=40$. Running time is 2.65 sec.

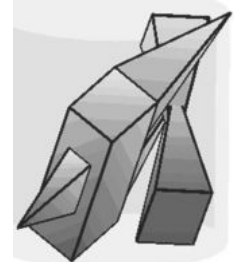


Fig. 6. Solution of problem P3 in Example 6

Example 3 and 5 are examples of global optimum proved by known global solutions.

7. Conclusions

In the paper a basic approach is presented to handle placement problems with irregular shapes (convex or non-convex polyhedra). We investigated the problem of enclosing two such objects by a cuboid, cylinder or sphere of minimal volume or homotetic coefficient by

means of phi-function technique. The solution methodology can be applied to a wide range of problems in cutting and packing. The extension of the approach to the case of more than two objects, the problem of filling holes of arbitrary shapes and other forms of objective functions is ongoing work for the near future publication.

References: 1. *Bennell, J.*, Scheithauer, G., Stoyan, Y., Romanova, T.: Tools of mathematical modeling of arbitrary object packing problems. *Annals of OR*, 179:343–368 (2008) 2. *Chernov, N.*, Stoyan, Yu., Romanova, T.: Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem. *Comput. Geometry: Theory & Appl.* 43, 535–553 (2010) 3. *Stoyan, Y.*, Pankratov, A., Romanova, T.: Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses. *J. of Glob. Optim.* (2015) DOI: 10.1007/s10898-015-0331-2 4. *Birgin, E.G.*, Martinez, J.M., Nishihara, F.H., Ronconi, D.P.: Orthogonal packing of rectangular items within arbitrary convex regions by nonlinear optimization. *Comput. Oper. Res.* 33: 3535–3548 (2006). 5. *Birgin, E.*, Martinez, J., Ronconi, D.: Optimizing the packing of cylinders into a rectangular containing region: A nonlinear approach. *Eur. J. of Oper. Res.* 160 (1), 19–33 (2005). 6. *Egeblad, J.*, Nielsen, B.K., Brazil, M.: Translational packing of arbitrary polyhedra. *Comp. Geom.* 42(4), 269–288 (2009). 7. *Fasano, G. A.*: Global Optimization point of view for non-standard packing problems. *J. Glob. Optim.* 55(2), 279–299 (2013). 8. *Petrov, M.S.*, Gaidukov, V.V., Kadushnikov, R.M.: Numerical method for modelling the microstructure of granular materials. *Powder Metall. and Metal Ceram.* 43 (7–8), 330–335, (2004). 9. *Torquato, S.*, Jiao, Y.: Dense polyhedral packings: Platonic and Archimedean solids. *Phys. Rev.* 80, 041104, (2009). 10. *Y. Stoyan*, N. Gil, G. Scheithauer, A. Pankratov, I. Magdalina, Packing of convex polyhedra into a parallelepiped // Optimization. – 2005. – Vol. 54, No. 2. – P. 215 – 235 11. *Xiao Liu*, Jia-min Liu, An-xi Cao, Zhuang-le Yao, 2015. HAPE3D – a new constructive algorithm for the 3D irregular packing problem. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering.* 16(5), 380–390 12. *Pasha, A.*: Geometric bin packing algorithm for arbitrary shapes. Master thesis (2008) 13. *Vivek, A.*, Dobowsky, S.: Application of a Model-free Algorithm for the Packing of Irregular Shaped Objects in Semiconductor Manufacture. *IEEE International Conference on Robotics and Automation.* 2: 1545–1550 · (2000) 14. *Vanek, J.*, Garcia Galicia, J. A., Benes, B., Mech, R., Carr, N., Stava, O., Miller, G. S.: PackMerger: A 3D Print Volume Optimizer. *Computer graphics forum.* 00: 1–11 (2014) 15. *Kreher D. L.*, Stinson D. R.: *Combinatorial Algorithms: Generation, Enumeration, and Search.* CRC Press, Florida, 1998 16. *Adamowicz, M.*, Albano, A.: Nesting two-dimensional shapes in rectangular modules. *Computer Aided Design.* 8, 1, 27–33 (1976) 17. *Belov, Gleb*, 2002. A Modified Algorithm for Convex Decomposition of

3D Polyhedra,” Technical report MATH-NM-03-2002, Institut für Numerische Mathematik, Technische Universität, Dresden, <http://www.math.tu-dresden.de/~belov/cd3/cd3.ps> 18. *Stoyan, Y.G.*, Gil, N.I., Pankratov, A., et al., 2004. Packing Non-convex Polyhedra into a Parallelepiped. Technische Universität Dresden <http://www.math.tu-dresden.de/~scheith/ABSTRACTS/PREPRINTS/04-non-conv.pdf> 19. *Wachter, A.*, Biegler, L.T.: On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale non-linear programming. *Math. Program.* 106 (1), 25–57, (2006).

Resume

Y. Stoyan, A. Pankratov, T. Romanova
OPTIMAL CLUSTERING OF POLYHEDRA

Background: Packing problems, also called placement or allocation problems, are interesting theoretically and have many important applications. Applications in industry include such problems as autonomously packing the hazardous waste into drums, which should then be melted in a plasma arc furnace, determining the placement of polycrystalline silicon nuggets during crucible packing as a key component of a robotic system to automated crucible packing process in semiconductor wafer production, creating the optimization frameworks for powder and FDM-based 3D printing that seeks to save printing time and the support material required to print 3D shapes, e.g., in space engineering, automobile production, shipbuilding. It is well known that even the one-dimensional version of the problem of finding the optimal usage of a given resource, the classical knapsack problem, belongs to the class of NP-hard optimisation problems. For this reason, most of the work related to cutting and packing problems employ heuristic approaches. Nevertheless, the development of exact solution methods is an important task to broaden the range of optimal solvable cases.

Materials and methods: One of the successful concepts in the case of irregular objects, which lends itself to exact approaches, is the phi-function technique. Using this approach leads, in general, to multi-extremal non-linear optimisation problems. Our tools permit the modelling of continuous object rotations, non-overlapping, containment and distance constraints. The concept allows the computation of high quality local optima, and in some cases, the global optimum. In this paper, we address the problem of determining the minimum size containing region to house two polyhedra.

Results: In the paper a basic approach is presented to handle placement problems with irregular shapes. We investigated the problem of enclosing two such objects by a cuboid, cylinder or sphere of minimal volume or homotetic coefficient by means of the phi-function technique.

Conclusion: The solution methodology can be applied to a wide range of problems in cutting and packing. The extension of the approach to the case of more than two objects, the problem of filling holes of arbitrary shapes and other forms of objective functions is ongoing work for the near future publication.

Поступил в редколлегию 25.08.2017.

УДК 519.85



И.В. Гребенник, А.С. Литвиненко

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, igor.grebennik@nure.ua;
ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, litvinenko1706@gmail.com

ГЕНЕРАЦИЯ ПЕРЕСТАНОВОК С ЧАСТИЧНО ОПРЕДЕЛЕННЫМ ПОРЯДКОМ СЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье рассматривается задача генерации перестановок, для которых порядок следования (отношения «больше» или «меньше») порождающих элементов в каждой перестановке задан частично, то есть только для некоторых из них. Описан алгоритм, позволяющий сгенерировать все перестановки, удовлетворяющие заданному порядку следования. Описанный алгоритм является универсальным и может быть использован для генерации других комбинаторных конфигураций.

КОМБИНАТОРИКА, ПЕРЕСТАНОВКА, ГЕНЕРАЦИЯ, ПОРЯДОК СЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, МНОЖЕСТВО СПУСКА

Гребенник И.В., Литвиненко О.С. Генерация перестановок с заданным порядком следования элементов. В статье рассматривается задача генерации перестановок, для которых порядок следования (отношения «больше» или «меньше») утворюючих елементів у кожній перестановці задано частково, тобто тільки для деяких з них. Запропоновано алгоритм, що дозволяє згенерувати всі перестановки, що задовольняють заданому порядку слідуюння. Описаний алгоритм є універсальним і може бути застосований для генерції інших комбінаторних конфігурцій.

КОМБИНАТОРИКА, ПЕРЕСТАНОВКА, ГЕНЕРАЦІЯ, ПОРЯДОК СЛІДУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ, МНОЖИНА СПУСКУ

Grebennik I.V., Lytvynenko O.S. Generating permutations with partially defined order of elements. Enumeration and generation of permutations where order of elements is defined partially is considered. Algorithm for generating all such permutations is introduced. Described algorithm is quite universal and can be used for generating other combinatorial sets.

COMBINATORICS, PERMUTATION, GENERATION, ORDER OF ELEMENTS, SET OF DESCENT

Введение

Генерация комбинаторных множеств является непрелюбимым многих научных и прикладных исследований, например [1-3]. При этом основное внимание уделяется генерации классических комбинаторных множеств: перестановок, сочетаний, размещений и т.д. Однако, для решения некоторых научных и прикладных задач требуется решить задачу генерации неклассических комбинаторных множеств либо новых с точки зрения их комбинаторной структуры, либо обладающих дополнительными свойствами по сравнению с классическими (например, [4-5]).

Одним из таких неклассических комбинаторных множеств являются перестановки с заданными спусками и подъемами, или заданным порядком следования элементов [6-7], частным случаем которых являются альтернативные перестановки [8-9].

Целью работы является решение задачи перечисления и генерации обобщенного случая перестановок с заданными спусками и подъемами: перестановок, где порядок следования элементов определен частично.

1. Перестановки с частично определенным порядком следования элементов

Пусть задано множество порождающих элементов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $a_1 < a_2 < \dots < a_n$, $a_i \in R^1$, $i \in J_n$,

$J_n = \{1, 2, \dots, n\}$. Множество всевозможных перестановок из элементов $a_1, a_2, \dots, a_n$ обозначим P_n . Для любой перестановки $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) \in P_n$ справедливы соотношения:

$$\pi_1 \rho_1 \pi_2 \rho_2 \dots \rho_{n-1} \pi_n, \rho_i \in \{<, >\}, i \in J_{n-1}. \quad (1)$$

Иначе говоря,

$$\pi_i < \pi_{i+1} \quad (2)$$

или

$$\pi_i > \pi_{i+1}. \quad (3)$$

Здесь $i \in J_{n-1}$.

Последовательность $\rho(\pi) = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1})$ назовем порядком следования элементов перестановки $\pi \in P_n$.

Лемма 1. Во множестве P_n всевозможных перестановок из n элементов существует 2^{n-1} различных порядков следования элементов $\rho(\pi)$.

Доказательство леммы следует из существования взаимно однозначного соответствия между множеством всех последовательностей $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1}$ и множеством всех двоичных последовательностей из $n-1$ элементов.

Порядок следования элементов $\rho(\pi)$ перестановки $\pi \in P_n$ можно представить с помощью диграммы, состоящей из $n-1$ сегментов. Выполнению неравенств (2) соответствует увеличение, выполнению неравенств (3) — убывание.

Пример 1. Множество перестановок P_4 порождено элементами $\{1, 2, 3, 4\}$. Согласно

лемме 1, существует всего 8 различных порядков следования элементов перестановок множества P_4 . Дигранны, представляющие порядки следования, и соответствующие им перестановки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диграны и перестановки множества P_4

Дигран	Перестановки	Дигран	Перестановки
	(1,2,3,4)		(4,3,2,1)
	(1,2,4,3) (1,3,4,2) (2,3,4,1)		(3,4,2,1) (2,4,3,1) (1,4,3,2)
	(3,2,1,4) (4,3,1,2) (4,2,1,3)		(4,1,2,3) (2,1,3,4) (3,1,2,4)
	(1,3,2,4) (1,4,2,3) (2,4,1,3) (2,3,1,4) (3,4,1,2)		(4,2,3,1) (3,2,4,1) (3,1,4,2) (4,1,3,2) (2,1,4,3)

Произвольную подпоследовательность π^i , то есть последовательность $r(\pi) = (\rho_{i_1}, \rho_{i_2}, \dots, \rho_{i_k})$, $i_1 < i_2 < \dots < i_k$, $k \in J_{n-1}$, назовем частично определенным порядком следования элементов (либо частично определенным порядком следования) перестановки $\pi \in P_n$. «Полный» порядок следования π^i определяет отношение элементов π_i и π_{i+1} для всех позиций $i \in J_{n-1}$, частично определенный порядок $r(\pi)$ — лишь для некоторых $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \subseteq J_{n-1}$.

Закфиксируем выбранный частично определенный порядок следования элементов $r(\pi)$ перестановки $\pi \in P_n$. Ему можно поставить в соответствие часть множества спуска перестановки. Множество $D(\pi)$ спуска перестановки π определяется как [7]:

$$D(\pi) = \{i \mid \pi_i > \pi_{i+1}\}, i \in J_{n-1}.$$

Определим множество $\bar{D}(\pi) = J_{n-1} \setminus D(\pi)$ как:

$$\bar{D}(\pi) = \{i \mid \pi_i < \pi_{i+1}\}, i \in J_{n-1}.$$

Нас интересует часть $D(\pi)$, касающаяся позиций $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$. Обозначим её через $D'(\pi)$:

$$D'(\pi) = \{i \mid \pi_i > \pi_{i+1}\} \subseteq D(\pi), i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}.$$

Тогда множество $\bar{D}'(\pi) = \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \setminus D'(\pi)$ можно определить в виде

$$\bar{D}'(\pi) = \{i \mid \pi_i < \pi_{i+1}\} \subseteq \bar{D}(\pi), i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}.$$

Множества $D'(\pi)$ и $\bar{D}'(\pi)$ определяют частично определенный порядок следования $r(\pi)$ элементов перестановки $\pi \in P_n$. Частично определенный порядок следования $r(\pi)$ и множества $D'(\pi)$ и $\bar{D}'(\pi)$ однозначно определяют друг друга. Например, если $r(\pi) = (\rho_2, \rho_4, \rho_5) = (>, <,>)$, то $D'(\pi) = \{2, 5\}$ и $\bar{D}'(\pi) = \{4\}$. Это же утверждение справедливо для «полного» порядка следования $\rho(\pi)$ как частного случая $r(\pi)$. Например, в последней строке

таблицы 1 множество спуска перестановки, соответствующее диграну слева, содержит один элемент: $D(\pi) = \{2\}$, $\bar{D}(\pi) = \{1, 3\}$. Для перестановки, соответствующих диграну справа, $D(\pi) = \{1, 3\}$, $\bar{D}(\pi) = \{2\}$.

Перестановка удовлетворяет частично определенному порядку $r(\pi)$ тогда, когда для всех $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ отношение π_i и π_{i+1} соответствует частично определенному в $r(\pi)$. Отношение π_i и π_{i+1} для $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ при этом может быть любым:

$$\rho_i \in \{<,>\}, i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}.$$

Лемма 2. Чтобы перестановка $\pi \in P_n$ удовлетворяла частично определенному порядку следования $r(\pi)$, частично определенному для k позиций $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$, необходимо и достаточно, чтобы он удовлетворял одному из 2^{n-k-1} «полных» порядков следования $\rho(\pi)$, совпадающих с $r(\pi)$ для $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$.

Доказательство. Так как отношение элементов π_i и π_{i+1} при $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ может быть любым, то в перестановках, удовлетворяющих частично определенному порядку $r(\pi)$, на позициях $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ может иметь место какое угодно отношение $\pi_i < \pi_{i+1}$, так и $\pi_i > \pi_{i+1}$. Это означает, что если частично определенный порядок $r(\pi)$ задан для k позиций из $n-1$ возможных, то для остальных $n-1-k$ позиций $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ отношение соседних элементов может быть любым из 2 возможных ($\rho_i \in \{<,>\}$). Следовательно, для каждой из остальных $n-1-k$ позиций $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ можно зафиксировать любое отношение $\rho_i \in \{<,>\}$, получив тем самым 2^{n-k-1} «полных» порядков следования $\rho(\pi)$. В перестановках, удовлетворяющих какому-либо порядку следования $\rho(\pi)$, отношение π_i и π_{i+1} при $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ будет соответствовать порядку, заданному в $r(\pi)$.

Если в частично определенном порядке следования $r(\pi)$ заданы все позиции $i \in \{1, 2, \dots, n-1\}$, перестановки с частично определенным порядком следования превращаются в перестановки с полностью заданным порядком следования $\rho(\pi)$. Частными случаями перестановок являются унимодальные перестановки [10] при $\rho(\pi) = (>,>,\dots,>,<,\dots,<)$ либо $\rho(\pi) = (<,<,\dots,<,>,\dots,>)$ (т.е. когда сначала идут только спуски, потом — только подъемы и наоборот), так же альтернативные перестановки [9] при $\rho(\pi) = (>,<,>,<,\dots)$ либо $\rho(\pi) = (<,>,<,>,\dots)$ (т.е. когда спуски и подъемы чередуются).

2. Перечисление перестановок с частично определенным порядком следования элементов

Рассмотрим задачу перечисления перестановок $\pi \in P_n$ с частично определенным порядком следования элементов $r(\pi)$.

Из леммы 2 следует, что количество перестановок, удовлетворяющих частично определенному порядку $r(\pi)$, равно сумме количеств перестановок, удовлетворяющих какому-либо из 2^{n-k-1} «полных» порядков следования $\rho^j(\pi)$, $j = 1, 2, \dots, 2^{n-k-1}$.

Тогда необходимо для каждого $\pi \in P_n$ перечислить все возможные соответствующие ему «полные» порядки следов $\rho^1(\pi), \rho^2(\pi), \dots, \rho^{2^{n-k-1}}(\pi)$, затем определить количество перестановок, соответствующих каждому из них, и сложить.

Формулы, полученные в [7], позволяют с помощью принцип включений-исключений определить количество перестановок, удовлетворяющих заданному множеству условий, т.е. перестановок с заданным «полным» порядком следов.

Рассмотрим задачу перечисления перестановок $\pi \in P_n$ с порядком следов элементов $\rho(\pi)$. Это условие эквивалентно тому, что множеством условий из перечисляемых перестановок является множество $S \subseteq J_{n-1}$. Другими словами, для перечисления перестановок $\pi \in P_n$ с порядком следов элементов $\rho(\pi)$ необходимо подсчитать число $N(\rho(\pi))$ всех перестановок $\pi \in P_n$, таких, что $D(\pi) = S$.

Следуя [7], для $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \subseteq J_{n-1}$ обозначим через $\beta_n(S)$ количество перестановок $\pi \in P_n$, для которых S является множеством условий.

В [7] получены следующие формулы для вычисления $\beta_n(S)$:

$$\beta_n(S) = \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_j \leq k} (-1)^{k-j} \binom{n}{s_{i_1}, s_{i_2} - s_{i_1}, \dots, n - s_{i_j}}, \quad (4)$$

где

$$\binom{n}{n_1, n_2, \dots, n_k} = \frac{n!}{n_1! \cdot n_2! \cdot \dots \cdot n_k!}.$$

Приведенные рассуждения позволяют сформулировать следующую лемму:

Лемма 3. Пусть $\rho(\pi^0)$ — порядок следов элементов перестановки $\pi^0 \in P_n$, причем $D(\pi^0) = S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \subseteq J_{n-1}$. Количество $N(\rho(\pi^0))$ всех перестановок $\pi \in P_n$, имеющих порядок следов элементов $\rho(\pi) = \rho(\pi^0)$, равно $\beta_n(S)$, т.е. $N(\rho(\pi^0)) = \beta_n(S)$, и определяется по формуле (4).

Доказательство. Определим бинарное отношение R во множестве P_n следующим образом. Два элемента $\pi^1, \pi^2 \in P_n$ находятся в отношении R , если они имеют один и тот же порядок следов элементов: $\rho(\pi^1) = \rho(\pi^2)$. Для отношения R нетрудно проверить следующие свойства: рефлексивности, симметричности и транзитивности, что позволяет сделать вывод о том, что R является отношением эквивалентности во множестве P_n .

Тогда все элементы $\pi \in P_n$, имеющие один и тот же порядок следов элементов, образуют класс эквивалентности $[\pi]$ по отношению R . Множество всех классов эквивалентности составляет фактор-множество $\Pi = P_n / R$ множества P_n по отношению R .

Пусть $\Lambda: P_n \rightarrow \Pi$ — фактор-отображение на множестве P_n . Рассмотрим задачу перечисления фактор-отображения Λ в явном виде. Решение этой задачи сводится к генерации всех перестановок $\pi \in P_n$

с порядком следов элементов $\rho(\pi) = \rho(\pi^0)$ для любой перестановки $\pi^0 \in P_n$.

Сложив количество перестановок, имеющих порядок следов $\rho^1(\pi), \rho^2(\pi), \dots, \rho^{2^{n-k-1}}(\pi)$, получим количество перестановок, удовлетворяющих заданному условию: $N(\rho(\pi))$:

$$N(\rho(\pi)) = \sum_{j=1}^{2^{n-k-1}} N(\rho^j(\pi)) \quad (5)$$

Построим алгоритм генерации перестановок $\pi \in P_n$ с заданным определенным порядком следов элементов $\rho(\pi)$.

3. Генерация перестановок с заданным определенным порядком следов элементов

Пусть заданы множество порождающих элементов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $a_1 < a_2 < \dots < a_n$ и заданный порядок следов элементов $\rho(\pi)$, определяющий множества $D'(\pi)$ и $\bar{D}'(\pi)$. Необходимо сгенерировать все перестановки $\pi \in P_n$, соответствующие $D'(\pi)$ и $\bar{D}'(\pi)$, в количестве $N(\rho(\pi))$, определяемом по формуле (5).

Обозначим через π^i заданную перестановку, состоящую из i элементов, $\pi^i = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i)$, $\pi_i \in A$, $i \in J_n$, $J_n^0 = \{0, 1, 2, \dots, n\}$. При этом π^0 — пустая заданная перестановка, $\pi^n = \pi \in P_n$ — результат генерации. Опишем алгоритм генерации перестановок с заданным порядком следов элементов $\rho(\pi)$. Назовем его *PartOrderedPerm*.

В начальной фазе, на нулевом уровне, входом алгоритма *PartOrderedPerm* является пустая перестановка π^0 .

Алгоритм *PartOrderedPerm* работает рекурсивно, на каждом i -ом уровне рекурсии $i \in J_{n-1}^0$ добавляя в текущую заданную перестановку $\pi^i = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i)$ длины i следующий элемент с номером $i+1$, тем самым получая на следующем уровне заданную перестановку $\pi^{i+1} = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{i+1})$ длины $i+1$. На уровне n алгоритм выводит.

Элемент $\pi_{i+1} \in A$ должен удовлетворять определенным условиям. Обозначим через F^i множество всех порождающих элементов, удовлетворяющих этим условиям, на каждом уровне $i \in J_{n-1}^0$.

Также обозначим через m^i количество следующих подряд подъёмов либо спусков в заданном порядке следов, начинающихся со следующей позиции $i+1$. Посчитаем значения m^i на каждом уровне $i \in J_{n-2}^0$ с помощью алгоритма *Get_M*, приведенного на рис.1.

Полученное множество значений $\{m_0, m_1, \dots, m_{n-2}\}$ является входным параметром алгоритма *Get_F* для получения F^i , приведенного на рис.2.

Опишем теперь основной алгоритм *PartOrderedPerm*, генерирующий все перестановки с заданным порядком следов элементов. Этот алгоритм приведен на рисунке 3. Для генерации всех необходимых перестановок *PartOrderedPerm* вызывается с параметром $\pi^0 = ()$.

```

def Get_M(i, n, D'(π), D̄'(π))
for i in {0, 1, ..., n-2}
    if {i+1} ⊆ D'(π)
        mi := max(t : i+t ∈ D'(π))
    else
        mi := max(t : i+t ∈ D̄'(π))
    
```

Рис. 1. Алгоритм Get_M

```

def Get_F(i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2}, πi);
Fi := ∅
if i = 0
    if 1 ∈ D'(π)
        return Fi := {am0+1, am0+2, ..., an}
    if 1 ∈ D̄'(π)
        return Fi := {a1, a2, ..., an-m0}
    if 1 ∈ D'(π), 1 ∈ D̄'(π)
        return Fi := {a1, a2, ..., an}
for (a ∈ A, a ≠ πji, j = 1, 2, ..., i)
    if (i ∈ D'(π) and a < πii) or (i ∈ D̄'(π) and a > πii) or i ∈ D'(π), i ∈ D̄'(π)
        condition2 := true else condition2 := false
    if i+1 ∈ D'(π)
        condition3 := ∃ L = {a1, a2, ..., ai} ⊆ A : ∀ al < πi+1, al ≠ πki,
            ∀ j ∈ Jmi, ∀ k ∈ Ji
    if i+1 ∈ D̄'(π)
        condition3 := ∃ L = {a1, a2, ..., ai} ⊆ A : ∀ al > πi+1, al ≠ πki,
            ∀ j ∈ Jmi, ∀ k ∈ Ji
    if i+1 ∈ D'(π), i+1 ∈ D̄'(π)
        condition3 := true
    if (i = n-1) or (condition2 and condition3)
        Fi := Fi ∪ a
return Fi
    
```

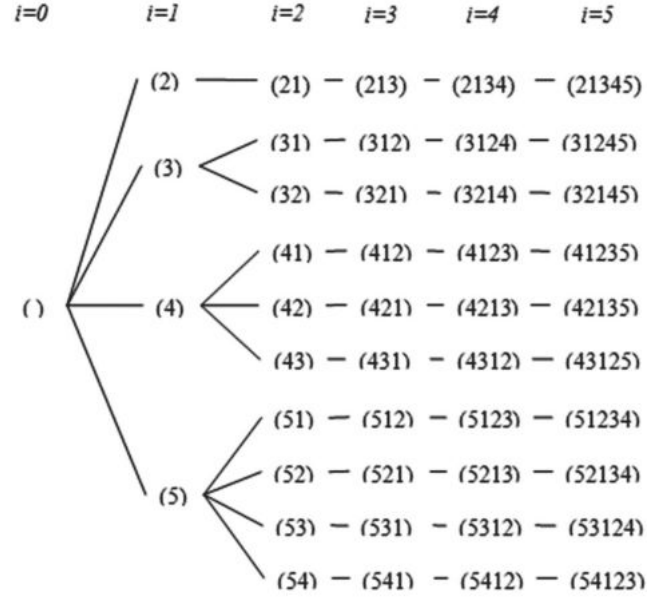
Рис. 2. Алгоритм формирования множеств

```

def PartOrderedPerm(i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2}, πi)
if i = n
    # we have got a full permutation, output it
    output πi
    exit
Fi := Get_F(i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2}, πi);
for fji in Fi
    PartOrderedPerm(i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2},
        πi+1 = (π1, π2, ..., πi, fji))
    
```

Рис. 3. Основной алгоритм PartOrderedPerm

Пример 2. На рис. 4 представлен пример генерации перестановок из элементов $A = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ при заданных множествах $D'(\pi) = \{1\}$, $\bar{D}'(\pi) = \{3, 4\}$ (позиция $i=2$ не задана). Лемма 2 в данном случае звучит так: чтобы перестановка $\pi \in P_n$ удовлетворяла частично заданному порядку следования $r(\pi)$, заданному для $k=3$ позиций $i \in \{1, 3, 4\}$, необходимо и достаточно, чтобы он удовлетворял одному из 2 «полных» порядков следования $r(\pi)$, совпадающих с $r(\pi)$ для $i \in \{1, 3, 4\}$. Такие «полные» порядки следования должны иметь спускающие позиции 1 и поднимающиеся позиции 3, 4 и соответствуют диаграммам


 Рис. 4. Рекурсивное дерево р-боты алгоритма при генерации перестановок из элементов $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ и множеств $D'(\pi) = \{1\}$, $\bar{D}'(\pi) = \{3, 4\}$

Применим алгоритм Get_M для подсчета значений m^i . В результате получим $m^0 = 1$, m^1 не считается (позиция 2 не задана), $m^2 = 2$, $m^3 = 1$.

Приведем множества F^i на уровнях $i=0, 1$. На уровне $i=0$ имеем $\pi^0 = ()$, $1 \in D'(\pi)$ и $F^0 = \{a_{1+1}, \dots, a_5\} = \{2, 3, 4, 5\}$.

Так как множество F^0 содержит 4 элемента, алгоритм «р-ветвится», имея на уровне $i=1$ четыре стичные перестановки $\pi^1 = (2), \pi^1 = (3), \pi^1 = (4), \pi^1 = (5)$.

Рассмотрим пример формирования множеств F^1 для стичной перестановки $\pi^1 = (3)$. Порождающими элементами, которые удовлетворяют вышеописанным условиям и могут быть на месте π_2 , являются элементы $\{1, 2\}$. На этом же уровне для перестановки $\pi^1 = (4)$ множество $F^1 = \{1, 2, 3\}$.

Так как для $\pi^1 = (1)$ множество F^1 содержит 2 элемента, то снова происходит разветвление рекурсивного дерева. На уровнях $i=2, 3, 4$ множества F^2, F^3 и F^4 содержат по одному элементу, поэтому разветвлений нет. На уровне $i=5$ длина перестановки равна 5, алгоритм выводит $\pi = \pi^5$ на экран.

Посчитав количество необходимых перестановок по формуле (5), получим в результате 10, что совпадает с количеством перестановок, полученных в результате работы алгоритма.

Выводы

В работе описан специальный вид перестановок — перестановки с частично определенным порядком следования. Оценено количество таких перестановок, предложен алгоритм для их генерации. Отметим, что описанный алгоритм PartOrderedPerm является универсальным и может

быть использованы для генерации других комбинаторных множеств. Для этого достаточно задать привилегированное формирование множеств для конкретного комбинаторного множества. Частными случаями описанного класса перестановок являются унимодальные и альтернирующие перестановки.

Список литературы: 1. *Ruskey F.* Combinatorial generation [Text] / F. Ruskey. — Dept. of Computer Science Univ. of Victoria, Canada, 2003. — 289 p. 2. *Kreher D.* Combinatorial Algorithms: Generation Enumeration and Search [Text] / D. Kreher, D. Stinson. — CRC Press, 1999. — 329 p. 3. *Knuth D.* The Art of Computer Programming [Text] / D. Knuth. — Volume 4, Fascicle 2: Generating All Tuples and Permutations. — Addison-Wesley, 2005. 4. Гребенник, И.В. Описание и генерация перестановок, содержащих циклы [Текст] / И.В. Гребенник // Кибернетика и системный анализ. — 2010. — № 6. — С. 97-105. 5. *Poneti M.* Generating restricted classes of involutions, Bell and Stirling permutations [Text] / M. Poneti, V. Vajnovszki. — European Journal of Combinatorics. — 2010. — № 31. — pp. 553–564. 6. *van Baronaigien R.* Generating permutations with given ups and downs [Text] / R. van Baronaigien, F. Ruskey // Discrete Applied Mathematics. — № 36(1), 1992. — pp. 57–65. 7. *Stanley R.* Enumerative combinatorics [Text] / R.P. Stanley. — Wadsworth, Inc. California. — vol. 1 — 1986. 8. *Stanley R. P.* A survey of alternating permutations // Contemp. Math. — 2010. — Т. 531. — С. 165-196. 9. *Bauslaugh B., Ruskey F.* Generating alternating permutations lexicographically // BIT Numerical Mathematics. — 1990. — Т. 30. — № 1. — С. 17-26. 10. *Bergeron F., Labelle G., Leroux P.* Combinatorial species and tree-like structures. — Cambridge University Press, 1998. — Т. 67. 11. *Grebennik I. V., Lytvynenko O. S.* Generating combinatorial sets with given properties // Cybernetics and Systems Analysis. — 2012. — С. 1-9.

Resume

I.V. Grebennik, O.S. Lytvynenko Generating permutations with partially defined order of elements

Special class of permutations is considered— permutations with partially defined order of elements. Such class of permutations is a generalization of permutations with given ups and downs. A formula for enumeration of such permutations as well and generation algorithm is given. Described algorithm can be used for generation of other combinatorial sets.

Background. It is sometimes insufficient to use classical combinatorial sets (arrangements, permutations, combinations) for constructing mathematical models of some combinatorial optimization problems. In such cases, non-classical combinatorial sets are used, and one of such sets are permutations with given ups and downs or permutations with defined order of elements. However, a problem of enumerating and generating permutations, where order of elements is defined partially, has not solved yet.

Materials and methods. The inclusion-exclusion principle was applied for enumerating permutations with partially defined order of elements. For generating all permutations with partially defined order of elements, recursive backtracking algorithm was used.

Results. Mathematical description for permutations with partially defined order of elements was given. A formula for enumerating all such permutations was constructed. Also article describes recursive backtracking algorithm for generating all permutations with partially defined order of elements.

Conclusion. Described algorithm for generating permutations with partially defined order of elements is quite universal and can be used for generating other classes of combinatorial sets.

Поступил в редколлегию 4.09.2017.

УДК 519.8



С.В. Яковлев, А.В. Карташов, К.П. Коробчинский

Национальный эрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
 «Харьковский виционный институт», Харьков, Украина, svsyak7@gmail.com;
 Национальный эрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
 «Харьковский виционный институт», Харьков, Украина, AlexeyKartashov@gmail.com;
 Национальный эрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
 «Харьковский виционный институт», Харьков, Украина, k.korobchinskiy@khai.edu

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ НА КОМБИНАТОРНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ

В статье введено понятие евклидовой комбинаторной конфигурации как отображения быстрого множества в арифметическое евклидово пространство. Сформулирована задача оптимизации на множестве евклидовых комбинаторных конфигураций. Рассмотрены особенности применения генетических алгоритмов для решения указанного класса задач. Описаны принципы формирования начальной популяции, механизмы отбора, выбор операторов кроссовера и мутации. Подход иллюстрируется на задаче комбинаторной оптимизации на множестве перестановок. Приведены примеры построения различных операторов кроссовера для евклидовых конфигураций перестановок.

КОМБИНАТОРНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, КРОССОВЕР, МУТАЦИЯ, ПЕРЕСТАНОВКА

С.В. Яковлев, О.В. Карташов, К.П. Коробчинский. Про один клас генетичних алгоритмів в задачах оптимізації на комбінаторних конфігураціях. У статті введено поняття евклідової комбінаторної конфігурації як відображення швидкої множини в арифметичний евклідовий простір. Сформульовано задачу оптимізації на множині евклідових комбінаторних конфігурацій. Розглянуто особливості застосування генетичних алгоритмів для розв'язання зазначеного класу задач. Описано принципи формування початкової популяції, механізми відбору, вибір операторів кроссоверу і мутації. Підхід ілюструється на задачі комбінаторної оптимізації на множині перестановок. Наведені приклади побудови різних операторів кроссоверу для евклідових конфігурацій перестановок.

КОМБИНАТОРНА КОНФИГУРАЦІЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, КРОССОВЕР, МУТАЦІЯ, ПЕРЕСТАНОВКА

S.V. Yakovlev, A.V. Kartashov, K.P. Korobchinsky. On the class of genetic algorithms in optimization problems on combinatorial configurations. The concept of the Euclidean combinatorial configuration as the mapping of an abstract set into an arithmetic Euclidean space is introduced. The problem of optimization on the set of Euclidean combinatorial configurations is formulated. The peculiarities of the application of genetic algorithms for solving this class of problems are considered. Principles of formation of the initial population, selection mechanisms, choice of crossover operators and mutation are described. The proposed approach is illustrated on the problem of combinatorial optimization on the set of permutations. Examples of the construction of various crossover operators for Euclidean permutation configurations are given.

COMBINATORIAL CONFIGURATION, OPTIMIZATION, GENETIC ALGORITHM, CROSSOVER, MUTATION, PERMUTATION

Введение

Задачи комбинаторной оптимизации относятся к классу NP -трудных, что обуславливает исследование эффективных приближенных методов для их решения [1-4]. Проблемы теории и методов вычислительного интеллекта применительно к задаче комбинаторной оптимизации вызывают постоянный интерес ученых [4-9]. Особое значение при этом имеют так называемые эволюционные методы, к которым относится класс генетических алгоритмов. Современные публикации в этом направлении [4, 10-14] доказывают эффективность применения эволюционных алгоритмов при решении задачи комбинаторной оптимизации.

При рассмотрении методов комбинаторной оптимизации важное место занимают исследования, связанные с формализацией понятий

комбинаторного множества и комбинаторного объекта, так же со свойствами функций, заданных на этих множествах. При этом одним из фундаментальных является понятие комбинаторной конфигурации. В зависимости от классов множеств комбинаторных конфигураций возникают различные оптимизационные задачи, методы решения которых существенно определяются свойствами конфигураций. В статье описан класс так называемых евклидовых комбинаторных конфигураций, на основе свойств которых предложены новые подходы к реализации генетических алгоритмов решения оптимизационных задач.

1. Евклидовые комбинаторные конфигурации

Под конфигурацией будем понимать отображение ψ некоторого исходного множества U

элементов произвольной природы в биструктурное множество V определенной структуры при выполнении заданного набора ограничений Ω , т.е.

$$\psi: U \rightarrow V \quad (1)$$

В случае конечных множеств U и V конфигурация (1) называется комбинаторной. Нечлуждательным исследованиям комбинаторных конфигураций было положено К. Бержем [15].

Представим комбинаторную конфигурацию кортежем

$$\langle \psi, U, V, \Omega \rangle \quad (2)$$

где $U = \{u_1, \dots, u_n\}$ — исходное множество, $V = \{v_1, \dots, v_k\}$ — результирующее множество, ψ — отображение вида (1), Ω — заданная система ограничений и вид отображения ψ .

Таким образом, комбинаторная конфигурация (2) осуществляет выделение некоторого конечного подмножества множества V и упорядочение его элементов. В результате комбинаторная конфигурация π представляет собой упорядоченную последовательность элементов из V , т.е.

$$\pi = \begin{pmatrix} u_1 & \dots & u_n \\ v_{j_1} & \dots & v_{j_n} \end{pmatrix} = \{v_{j_1}, v_{j_2}, \dots, v_{j_n}\}$$

Исследования комбинаторных конфигураций посвящены, в частности, роботам [15–18]. Дальнейшее развитие понятия комбинаторной конфигурации получило путем ослабления условий конечности V [19, 20]. Допускается, что результирующее множество V может быть счетным, и комбинаторная конфигурация в этом случае называется комбинаторным объектом. В роботах [19, 20] определены комбинаторные объекты k -го порядка, что существенно расширяется круг практических задач, которые могут быть формализованы с использованием понятия комбинаторного объекта.

В роботе [21] рассмотрен класс комбинаторных конфигураций, в которых элементами результирующего множества V являются числовые векторы. Выделение того класса обосновывается широким кругом реальных задач, в которых элементы исходного множества U характеризуются определенным набором числовых параметров (например, физических и метрических характеристик). В первую очередь, речь идет о задачах размещения геометрических объектов, имеющих ярко выраженную комбинаторную структуру [22, 23].

Пусть B — множество векторов пространства R^m одной координатной размерности, т.е.

$$b_l = (b_{l1}, \dots, b_{lm})^T \in R^m, l \in J_k \quad (3)$$

Отождествим множество B с результирующим множеством V . Тогда в соответствии с (2) конфигурация π будет представлять собой упорядоченную последовательность векторов $b_{j_1}, b_{j_2}, \dots, b_{j_n}$, где $b_l = (b_{l1}, \dots, b_{lm})^T \in R^m, l \in J_k$. Каждой конфигурации $\pi = \{b_{j_1}, b_{j_2}, \dots, b_{j_n}\}$ поставим

взаимно-однозначное соответствие вектор $x = (x_1, \dots, x_N) \in R^N, N = nm$, т.е. заданным биективное отображение φ , такое что:

$$x = \varphi(\pi), \pi = \varphi^{-1}(x) \quad (4)$$

Например, такое соответствие можно задать следующим образом:

$$x = (x_1, \dots, x_N) = (b_{1j_1}, \dots, b_{1j_n}, b_{2j_1}, \dots, b_{2j_n}, \dots, b_{mj_1}, \dots, b_{mj_n})$$

Определение. Евклидовой комбинаторной конфигурацией назовем отображение

$$\varphi: \langle \chi, U, B, \Lambda \rangle \rightarrow R^N, \quad (5)$$

где B — результирующее множество, χ — отображение вида $\chi: U \rightarrow B$, Λ — система ограничений и вид отображения χ .

Будем представлять евклидовую конфигурацию кортежем $\langle \chi, U, B, \Lambda \rangle$.

Таким образом, евклидова комбинаторная конфигурация представляет собой образ комбинаторной конфигурации $\langle \chi, U, B, \Lambda \rangle$ в римановом евклидовом пространстве R^N при заданном отображении φ .

Пусть Π — множество, элементами которого являются всевозможные комбинаторные конфигурации $\langle \chi, U, B, \Lambda \rangle$, удовлетворяющие системе ограничений Λ . Тогда образ $E_\varphi = \varphi(\Pi)$ комбинаторного множества Π в R^N будет представлять собой совокупность всех евклидовых комбинаторных конфигураций, удовлетворяющих (2).

Сделаем следующее замечание. Ю.Г. Стояном введено понятие евклидового комбинаторного множества [23], к которому относятся упорядоченные элементы подмножества конечного множества произвольной природы. Таким образом, если множество B конечно, то Π является евклидовым комбинаторным множеством. В общем случае, при заданном отображении φ вида (5) множество допустимых отображений $\chi: U \rightarrow B$ определяет соответствующий класс евклидовых комбинаторных конфигураций.

Выделение класса евклидовых комбинаторных множеств обосновывается рядом специфических свойств, которыми обладают указанные комбинаторные множества при их отображении в R^N .

2. Генетические алгоритмы оптимизации в евклидовых комбинаторных конфигурациях

Сформулируем задачу оптимизации функции $f(x)$, заданной на множестве E евклидовых комбинаторных конфигураций, в виде

$$f(x) \rightarrow \min, x \in E.$$

Рассмотрим особенности реализации генетических алгоритмов для задач оптимизации в евклидовых комбинаторных конфигурациях. Заметим, что генетические алгоритмы относятся к классу эволюционных алгоритмов поиска путем последовательного отбора, комбинирования и вариации параметров задачи с использованием механизмов

которые лежат в основе биологической эволюции и используют термины, заимствованные из генетики. Генетические алгоритмы оперируют с множеством решений (популяций), сформированных конечным множеством особей. Особи, входящие в популяцию, задаются хромосомами с закодированными в них параметрами задачи. Хромосомы представляют собой упорядоченные последовательности генов. Ген (который также называется свойством, знаковым ли детектором) — это тот или элемент генотипа, в частности хромосомы. Набор хромосом у каждой особи задает ее генотип (структуру). Таким образом, особями популяции могут быть генотипы или единичные хромосомы. Совокупность внешних и внутренних признаков, соответствующих данному генотипу, задают фенотип особи, т.е. декодированную структуру или множество параметров задачи.

Результат генетических алгоритмов предполагает решение следующих задач:

- определение способов формирования начальной популяции;
- формирование механизмов отбора;
- задание операторов кроссовера (скрещивания);
- задание операторов мутации;
- выбор условия окончания поиска.

Для простого случая зададим, что генотип и фенотип особей популяции совпадают и в качестве хромосомы выступит допустимая евклидова комбинаторная конфигурация $x = (x_1, \dots, x_N)$, гены являются значениями ее компонент последовательности. Решения позиционируются в популяции в соответствии с их положением на поверхности исследуемой функции. При этом последовательно генерируются новые решения к различным комбинаторным состояниям имеющихся популяций.

Генерация начальной популяции, как правило, предполагает случайный выбор особей. Для простого случая речь идет о случайном выборе допустимых евклидовых комбинаторных конфигураций $x = (x_1, \dots, x_N)$. Это задание представляет самостоятельный интерес и решается в зависимости от простого случая конфигураций.

На следующем этапе осуществляется выбор родительских пар. Как правило, при этом используется элитный отбор, т.е. выбирается k особей с лучшими значениями целевой функции $f(x)$ и состоят из них родительские пары. Если выбрать всевозможные сочетания родительских пар, то их общее число будет $k(k-1)/2$. Особенности простого случая позволяют предложить следующий подход к выбору родительских пар. Вычисляя евклидовы расстояния между лучшими k особями, осуществим кластеризацию формируемого массива. Выберем $k_0 \leq k$ кластеров, в каждом из которых сгруппированы близлежащие особи. Будем выбирать родительские пары только из одного кластера. Естественно, в этом случае количество потомков будет меньше, чем при полном

переборе возможных сочетаний. Однако различные привилегии скрещивания, также мутации позволяют получить необходимый объем потомства. В связи с этим опишем способы формирования операторов кроссовера (скрещивания), основанные на свойствах различных классов множеств евклидовых комбинаторных конфигураций.

Выберем для скрещивания две особи — евклидовые комбинаторные конфигурации $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$. Одними из наиболее распространенных способов скрещивания является так называемый одноточечный и двухточечный кроссоверы.

При одноточечном кроссовере осуществляется случайный выбор места разделения последовательности координат на две части. Например, осуществив разделение по j -ой позиции, потомками особей

$$x = (x_1, \dots, x_j, x_{j+1}, \dots, x_N),$$

$$y = (y_1, \dots, y_j, y_{j+1}, \dots, y_N)$$

будем считать

$$\tilde{x} = (x_1, \dots, x_j, y_{j+1}, \dots, y_N),$$

$$\tilde{y} = (y_1, \dots, y_j, x_{j+1}, \dots, x_N).$$

При двухточечном кроссовере, исходные особи разбиваются на три части в точках j_1 и j_2 , $j_1 < j_2$. В результате потомки примут вид:

$$\tilde{x} = (x_1, \dots, x_{j_1}, y_{j_1+1}, \dots, y_{j_2}, x_{j_2+1}, \dots, x_N),$$

$$\tilde{y} = (y_1, \dots, y_{j_1}, x_{j_1+1}, \dots, x_{j_2}, y_{j_2+1}, \dots, y_N).$$

Обобщением двухточечного является k — точечный кроссовер, при котором родительские особи разбиваются в точках $j_1, j_2, \dots, j_k$, $j_1 < j_2 < \dots < j_k$, их части чередуются у потомков.

Среди других рекомендуемых подходов к скрещиванию родительских особей упомянем равномерный кроссовер, при котором значения компонент с вероятностью p берется от первого родителя, с вероятностью $(1-p)$ — от второго. Известен также обобщенный кроссовер, в котором специальный битовый вектор-маска определяет значения генов каждого из родителей получит потомок.

Сложная комбинаторная структура множества E приводит к тому, что полученные потомки (евклидовые комбинаторные конфигурации) $\tilde{x}$ и $\tilde{y}$, как правило, не удовлетворяют системе ограничений Λ . Поэтому операторы кроссовера, примеры которых приведены выше, назовем операторами *квзискрещивания*. Результат *квзискрещивания* евклидовых комбинаторных конфигураций $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$ представим в виде

$$z = W(x, y). \quad (6)$$

Для формирования допустимых евклидовых комбинаторных конфигураций на основе *квзискрещивания* родительских особей необходимо осуществить специальные преобразования.

В связи с этим предложим следующий подход. Будем выбирать евклидовую комбинаторную конфигурацию $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_N)$, которая удовлетворяет системе ограничений Λ , и является ближайшей к особи $z = (z_1, \dots, z_N)$, полученной в результате скрещивания. Таким образом, имеем вспомогательную задачу проектирования некоторой точки z на множество допустимых евклидовых конфигураций E , т.е.

$$\tilde{z} = Pr_E z. \quad (7)$$

Следовательно, оператор кроссовер для евклидовых комбинаторных конфигураций $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$ представим в виде суперпозиции операторов (10) и (11):

$$\tilde{z} = Pr_E H(x, y).$$

Нахождение точки $\tilde{z}$ сводится к решению оптимизационной задачи

$$\|\tilde{z} - z\| \rightarrow \min, \quad z \in E. \quad (8)$$

Специфик p -значных множеств евклидовых комбинаторных конфигураций позволяет отнести их к классу хорошо описанных, т.е. множеств, в которых линейные задачи полиномиально разрешимы. В первую очередь речь идет о т.к.н.з. емых сферически расположенных множествах.

Множество $E \subset R^n$ назовем сферически расположенным, если существуют такие $\tau \in R^n$ и число $r > 0$, что для любых $z \in E$

$$\|z - \tau\|^2 = r^2. \quad (9)$$

Пусть E — сферически расположенное множество евклидовых комбинаторных конфигураций. Тогда для любых $z = (z_1, \dots, z_N) \in E$ и $z^0 = (z_1^0, \dots, z_N^0)$ имеем

$$\begin{aligned} \|z - z^0\|^2 &= \|z - \tau\|^2 + \|z^0 - \tau\|^2 - 2(z - \tau, z^0 - \tau) = \\ &= \sum_{i=1}^N c_i z_i + b, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} c_i &= -2(z_i^0 - \tau_i), \\ b &= r^2 + \sum_{i=1}^N (z_i^0 - \tau_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^N \tau_i (z_i^0 - \tau_i). \end{aligned}$$

Таким образом, решение задачи (8) сводится к нахождению минимум линейной функции

$$f(z) = \sum_{i=1}^N c_i z_i$$

на множестве E , следовательно, и многограннике $conv E$.

Результативный подход, предложим следующие способы получения потомков для особей $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$. Учитывая, что особи (евклидовые комбинаторные конфигурации) являются элементами рифметического евклидового пространства, воспользуемся свойством линейности этого пространства. Для поиска потомства будем выбирать линейные комбинации особей x и y .

Рассмотрим общий подход для формирования операторов кроссовер, учитывая различные схемы построения линейных комбинаций x и y .

Простая линейная комбинация родительских p :

$$\tilde{z} = Pr_E (x + y).$$

Взвешенная линейная комбинация родительских p в соответствии со значениями функции $f(x)$ в этих точках:

$$\tilde{z} = Pr_E (xf(x) + yf(y)).$$

При этом в задаче минимизации большему значению функции соответствует больший коэффициент.

Рандомизированная взвешенная линейная комбинация:

$$\tilde{z} = Pr_E (pxf(x) + (1-p)yf(y)),$$

где p — равномерно распределенная на отрезке $[0, 1]$ случайная величина.

В общем случае логично предположить, что потомство сохраняет гены не только своих родителей, и других предков. Тогда оператор кроссовер при взвешенной линейной комбинации k особей примет вид

$$\tilde{z} = Pr_E \left(\sum_{i=1}^k x_i f(x_i) \right),$$

либо рандомизированной взвешенной линейной комбинации:

$$\tilde{z} = Pr_E \left(\sum_{i=1}^k p_i x_i f(x_i) \right),$$

где $\sum_{i=1}^k p_i = 1$.

3. Оператор кроссовер для евклидовых конфигураций перестановок

Рассмотрим приложение описанного подхода при решении задачи оптимизации на комбинаторном множестве перестановок. В этом случае евклидовой комбинаторной конфигурацией $\langle \varphi, \chi, U, B, \Lambda \rangle$ задается биективным отображением $\chi: U \rightarrow B$, множество ограничений $\Lambda = \emptyset$. Пусть множество B таково, что $k=1, N=n$, т.е. $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ — множество n действительных чисел, которые упорядочим по неубыванию $b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_n$. Тогда евклидовой комбинаторной конфигурацией $z = (z_1, \dots, z_n) \in R^n$ представляется собой упорядоченный набор чисел из B . В частности, можно положить $B = J_n$.

Множество всех евклидовых комбинаторных конфигураций, удовлетворяющих указанному выше свойству, называется евклидовым множеством перестановок [24, 25], которое обозначим $E(B)$. Известно, что множество $E(B)$ является полиэдрично сферическим и совпадает с множеством решений системы уравнений и неравенств

$$\sum_{i=1}^n z_i = \sum_{i=1}^n b_i, \quad \sum_{i \in W} z_i \geq \sum_{i=1}^{|W|} b_i, \quad \forall W \subset J_n,$$

$$\sum_{i=1}^n (z_i - \tau)^2 = \sum_{i=1}^n (b_i - \tau)^2, \quad \tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i, \quad |W| = \text{card } W.$$

Отметим тот факт, что линейная функция

$$f(z) = \sum_{i=1}^n c_i z_i$$

на множестве $E(B)$ достигнет своего минимум в точке $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n)$, где $\tilde{z}_{\pi_i} = b_i$, $i \in J_n$, последовательность $\{\pi_1, \dots, \pi_n\}$, $\pi_i \in J_n$, $\pi_i \neq \pi_j \forall i, j \in J_n, i \neq j$ такова, что $c_{\pi_1} \geq \dots \geq c_{\pi_n}$.

Поскольку множество $E(B)$ полиэдрально-сферическое, то для любой точки $z^0 = (z_1^0, \dots, z_n^0)$ можно указать ближайшую точку из $E(B)$, представимую в виде $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n)$, где $\tilde{z}_{\pi_i} = b_{n-i+1}$, $i \in J_n$, последовательность $\{\pi_1, \dots, \pi_n\}$, $\pi_i \in J_n$, $\pi_i \neq \pi_j \forall i, j \in J_n, i \neq j$ такова, что $z_{\pi_1}^0 \geq \dots \geq z_{\pi_n}^0$.

Рассмотрим пример построения операторов кроссовера для задачи оптимизации функций, заданной на евклидовом множестве перестановок с учетом приведенных выше результатов.

Пусть $B = \{2, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 18, 20, 21\}$, $n = 10$. Выберем две родительские особи — евклидовы комбинаторные конфигурации

$$x = \{21, 2, 5, 9, 20, 13, 6, 12, 18, 11\},$$

$$y = \{20, 5, 6, 12, 18, 9, 2, 11, 21, 13\},$$

Рассмотрим двухточечный кроссовер при $j_1 = 3, j_2 = 7$.

В результате псевдоскрещивания имеем пары x и y имеем

$$z_1 = \{21, 2, 5, 12, 18, 9, 2, 12, 18, 11\},$$

$$z_2 = \{20, 5, 6, 9, 20, 13, 6, 11, 21, 13\}.$$

Тогда

$$\tilde{z}_1 = Pr_{E(B)}(z_1) = \{21, 5, 6, 13, 20, 9, 2, 12, 18, 11\}$$

$$\tilde{z}_2 = Pr_{E(B)}(z_2) = \{18, 2, 6, 9, 20, 13, 5, 11, 21, 12\}$$

Будем скрещивать особи по принципу простой линейной комбинации родительских пар. В результате псевдоскрещивания имеем

$$z = \{41, 7, 11, 21, 38, 22, 8, 23, 39, 24\}.$$

Тогда

$$\tilde{z} = Pr_{E(B)}(x + y) = \{21, 2, 6, 9, 18, 11, 5, 12, 20, 13\}.$$

Нетрудно видеть, что полученный потомок «привнодлен» от родительских особей.

Пусть дополнительно известно, что $f(x) = 20$, $f(y) = 30$. Тогда псевдоскрещивание по принципу взвешенной линейной комбинации даст

$$z = \{102, 19, 28, 54, 94, 53, 18, 57, 99, 61\},$$

с использованием операторов скрещивания (7) получим

$$z = \{21, 5, 6, 11, 18, 9, 2, 12, 20, 13\}.$$

Таким образом, потомок сохранил большее влияние генов родителя, которому соответствует большее значение функции.

Анализ приведенных выше примеров показывает, что использование предложенного в статье подхода к задаче операторов кроссовера для евклидовых комбинаторных конфигураций соответствует основным принципам, положенным в основу формирования новой популяции.

Выводы

В статье предложен новый подход к реализации генетических алгоритмов в задачах комбинаторной оптимизации. Введено понятие евклидовой комбинаторной конфигурации как отображения конечного бесконечного множества произвольной природы в римановское евклидовое пространство. В результате того отображения задача комбинаторной оптимизации эквивалентно формулируется в терминах задачи минимизации функционала, зависящего от переменных, выступающих евклидовы комбинаторные конфигурации как точки пространства R^N . Рассмотрены особенности реализации генетических алгоритмов для решения задачи комбинаторной оптимизации: предложены способы формирования начальной популяции и механизмы отбора, формализованы и обоснованы выбор операторов кроссовера и мутации. В качестве примера рассмотрена задача оптимизации функции, заданной на множестве перестановок. Проиллюстрированы различные способы построения операторов кроссовера для евклидовых конфигураций перестановок.

Список литературы: 1. Korte B., Vygen J. Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. — Heidelberg; New York: Springer Berlin, 2002. — 660 pp. 2. Pardalos P., Du D.-Z., Graham R. L. Handbook of Combinatorial Optimization. — 2nd ed. — Heidelberg: Springer. — 2013, XXI. 3. Сергиенко И.В., Шило В.П. Задача дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования. — К.: НУДМ, 2003. — 261 с. 4. Гуляницкий Л. Ф., Мулес О. Ю. Прикладные методы комбинаторной оптимизации: учебный пособие. — К.: Видеинформационный центр «Київський університет», 2016. — 142 с. 5. Субботин С.О., Олійник А.О., Олійник О.О. Нейтертивні, еволюційні та мультигентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія. — 3 поріжжя: ЗНТУ, 2009. 6. Neri F., Cotta C., Moscato P. Handbook of Memetic Algorithms — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 7. Karaboga D., Gorkemli B., Ozturk C., Karaboga N. A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications — Artificial Intelligence Review. - 2014. - 42 (1). — P. 21-57. 8. Nikolic M., Teodorovic D. Empirical study of the bee colony optimization (BCO) algorithm — Expert Systems with Applications. - 2013. - 40(11). — P. 4609-4620. 9. Dorigo M., Blum C. Ant colony optimization theory: A survey — Theoretical Computer Science. — 2005. — 344. — P. 243-278. 10. Pintea C.-M. Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems — Heidelberg: Springer, 2014. 138 11. Zhang P. Combinatorial optimization problem solution based on improved genetic algorithm. AIP Conference Proceedings 1864, 020206 (2017) 12. Eremeev A.V. Optimal recombination in genetic algorithms for combinatorial optimisation problems part II. Yugoslav Journal of Operations Research, [S.l.], v. 24, n. 1, oct. 2016. ISSN 2334-6043 13. Venkatesan D., Balachandar Kannan S. R.

A New Genetic Algorithm for Time Dependent Combinatorial Optimization Problem National Academy Science Letters, June 2016, Volume 39, Issue 3, pp 207–211. **14.** *Rajappa, Gautham P.*, Solving Combinatorial Optimization Problems Using Genetic Algorithms and Ant Colony Optimization”, PhD diss., University of Tennessee, 2012. **15.** *Berge C.* Principes de combinatoire. — Paris: Dunod, 1968. — 146 p. **16.** *Счков В.Н.* Комбинаторные методы дискретной математики. — М.: Наука, 1975. — 319 с. **17.** *Стоян Ю.Г., Гребенник И.В.* Описание классов комбинаторных конфигураций на основе отображений // Доклады НАН Украины. — 2008. — №10. — С. 28 — 31. **18.** *Донець Г.П., Колечкин Л.М.* Экстремальные задачи комбинаторных конфигураций. — Полтава: ПУЕТ, 2011. — 328 с. **19.** *Гуляницкий Л.Ф., Сергиенко И.В.* Метод эвристический метод деформированного многогранника в комбинаторной оптимизации // Кибернетика и системный анализ. — 2007. — № 6. — С. 70–79. **20.** *Гуляницкий Л.Ф., Сиренко С.И.* Определение и исследование комбинаторных пространств // Теория оптимальных решений. — 2010. — № 9. — С. 17–25. **21.** *Яковлев С.В., Пичугин О.С.* Задачи оптимизации на евклидовых комбинаторных конфигурациях и их свойства // Питання прикладної математики і математичного моделювання. — Дніпро. — 2017. — Вип.17. — С. 228-235. **22.** *Стоян Ю.Г., Яковлев С.В.* Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. — К.: Науков. думки, 1986. — 268 с. **23.** *Yakovlev S.V.* The method of artificial space dilation in problems of optimal packing of geometric objects // Cybernetics and Systems Analysis. — 2017. — 53(5). — P. 725-732. **24.** *Pichugina O.S., Yakovlev S.V.* Functional and analytic representations of the general permutations // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2016. — 1(4). — P. 27-38. **25.** *Pichugina O.S., Yakovlev S.V.* Continuous Representations and Functional Extensions in Combinatorial Optimization — Cybernetics and Systems Analysis. — 2016, 52(6), pp. 921-930.

Resume

S.V. Yakovlev, A.V. Kartashov, K.P. Korobchinsky

ON THE CLASS OF GENETIC ALGORITHMS IN OPTIMIZATION PROBLEMS ON COMBINATORIAL CONFIGURATIONS

Background: The solution of combinatorial optimization problems is connected with computational complexity due to the high dimensionality of the problems. The existing algorithms are based on the properties of combinatorial sets and functions defined on these sets. Analysis of new properties of optimization problems contributes to the development of effective approaches to their solution.

Materials and methods: In this paper we introduce the concept of a Euclidean combinatorial configuration, as a mapping of an abstract finite set into an arithmetic Euclidean space. This allows us to obtain new properties of optimization problems on combinatorial sets and propose new genetic algorithms for their solution.

Results: The properties of Euclidean combinatorial configurations are investigated. Methods for the formation of the initial population, mechanisms for selection, selection of crossover operators and mutation for genetic algorithms are proposed. The problem of combinatorial optimization on the set of Euclidean permutation configurations is considered and examples of the construction of various crossover operators in genetic algorithms for solving it are given. **Conclusion:** The article describes a new class of genetic algorithms for solving combinatorial optimization problems. On the basis of the properties of Euclidean combinatorial configurations, new ways of forming crossover operators and mutations are proposed, which make it possible to improve the efficiency of existing methods of solution.

Поступил в редколлегию 7.09.2017

УДК 519.6



О.М. Литвин, О.О. Литвин, О.С. Чорн *

Укр їнськ Інженерно-Пед гоічн Ак демія,
м. Х рків, Укр їн , academ_mail@ukr.net

*Н ціон льний технічний університет «Х рківський політехнічний інститут»,
lena1402@ukr.net

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ СУКУПНОСТІ КОРИСНИХ КОПАЛИН МЕТОДАМИ ІНТЕРЛІНАЦІЇ МАТРИЦЬ-ФУНКЦІЙ

В роботі досліджується з д ч про відновлення в кожній точці між з д ною системою свердловин (вз г лі к жучи похилих) скінченої множини елементів періодичної т блиці бо їх сполук лінійної щільності н з д ній глибині. Обмеження вводиться п вибр ними елемент ми бо їх сполук ми. З - пропонує метод побудови інтерлін ційного опер тор м тричних функцій, кожн компонент якої з лежить від трьох змінних н системі кривих, тобто співп д є з н ближув ною м тричною функцією у всіх свердловин хн з д ній глибині, т дозволяє обчислюв ти зн чення цієї м тричної функції в кожній точці між свердловин ми.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ, ІНТЕРЛІНАЦІЯ ФУНКЦІЙ,
КОРИСНІ КОПАЛИНИ

Литвин О.Н., Литвин О.О., Чорн я Е.С. М тем тическ я модель простр нственного р спределения совокупности полезных ископ емых метод ми интерлин ции м триц-функций. В р боте исследуется з - д ч о восст новлении в к ждой точке между з д нной системой скв жин (вообще говоря н клонных) конечного множеств элементов периодической т блицы или их соединений линейной плотности н з д нной глубине. Огр ничение вводится п вибр нными элемент ми или их соединениями. Предложено метод построения интерлин ционного опер тор м тричных функций, к жд я компонент которой з - висит от трех переменных н системе кривых, то есть совп д ет с приближенной м тричной функцией во всех скв жин хн з д нной глубине, и позволяет р ссчитыв ть зн чение этой м тричной функции в к ждой точке между скв жин ми.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ИН-
ТЕРЛИНАЦИЯ ФУНКЦИЙ, ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Lytvyn O.M., Lytvyn O.O., Chorna O.S. Mathematical spatial minerals distributing model of interlineation matrix-functions methods. The problem of recovery at any point between the set of chinks system (generally inclined) a finite set of periodic system elements or their compounds of the linear density of the element at the depth. The restriction is entered by n selected elements or their connections. A method is proposed for constructing an interlineation operator of matrix-functions, each of which depends on three variables on the basis of curves, that is, it coincides with a suitable matrix-function at all points at a given depth, and allows the calculation value of this matrix-function at each point between the chinks.

MATHEMATICAL MODELING, SPATIAL DISTRIBUTION, INTERLINATION OF FUNCTIONS,
MINERAL RESOURCES

Вступ

М тем тичне моделюв ння для вирішення геофізичних з вд нь з допомогою м тем тики н - стільки скл дне, що тут використовуються передові її досягнення і н йвищий рівень комп'ютериз ції. Н геофізичних з вд ннях не биякою мірою удо- скон люється м тем тичний п р т. М тем тичне вирішення прямих з вд нь, тобто визн чення п - р метрів фізичного поля по відомих фізичних вл с- тивостях, розмір х і формі геологічних об'єктів, хоч інколи дуже скл дно, ле однозн чно. В той же ч с, один і той же розподіл п р метрів фізич- ного поля може відповід ти різним співвідношен- ням фізичних вл стивостей і розмірів геологічних об'єктів. Іншими слов ми, м тем тичне рішення зворотної з д чі геофізики (як і вз г лі м тем тич- ної фізики), тобто визн чення розмірів геологіч- них об'єктів і вл стивостей порід, що скл д ють їх,

по полю, не лише зн чно скл дніше, ле і, як пр - вило, неоднозн чно[1].

Геологи, проектув льники й будівельники по- винні оцінюв ти кожне родовище як комплекс корисних коп лин. Дійсно, поряд із основною сировиною (вугіллям, з лізними, мідними руд ми тощо) всі скл дові речовини як у рудному тілі, т к і в розкритих т вмісних породах, можуть бути ко- рисними для н родного господарств . Адже супут- ні компоненти (будівельні, хімічні т ін.) з в ртіс- тю ч сто рівноцінні основній корисній коп лині. В той же ч с розкриті т вмісні породи ч сто вв ж - ються відход ми гірничодобувних підприємств і їх, як пр вило, скл д ють у відв ли.

Площі під відв л ми був ють зн чно більшими, ніж площі вл снє к р'єрних розробок. З деякими оцінк ми, при видобув нні корисних коп лин що- річно н поверхню Землі вийм еться 150 млрд. т к зв них «пустих» порід.

Більшість видів мінеральної сировини багатоконпонентні. Це, зокрема, руди чорних і кольорових металів, нафти, газу, вугілля, горючі сланці, солі тощо. Іноді буває так, що загальна цінність супутніх елементів перевищує вартість основної сировини. Повнотавилучення супутніх компонентів визначає ступінь комплексності використання даної сировини.

На ділянках, де виявлено ознаки корисних копалин, здійснюють пошуково-розвідувальні роботи. Якщо вони підтвердили наявність знахідок, то розпочинають наступний етап робіт – розвідку.

Розвідка необхідна для того, щоб визначити форму і розміри тіл, вміст у них корисних копалин, розподіл рудних мінералів, підрахувати середній вміст корисних компонентів і загальні запаси, тобто загальну масу (в тоннах або кілограмах) кожного металу в родовищі.

Підрахунок запасів корисної копалини є важливою і відповідальною операцією, як з вершувати всебічне вивчення родовища і визначити його промисловою цінність. Підрахунок запасів підпорядкований основній вимозі – строгому обліку багатств надр, ретельному і комплексному їх використанню [2].

Математичне моделювання займає провідне місце в гірничо-економічному аналізі. Цей метод дає можливість вибирати оптимальні режими роботи гірничотехнічного устаткування, визначити найкращі параметри реконструкції тих, що діють і будівництва нових гірничодобувних підприємств, вирішувати завдання комплексного розвитку гірничодобувних регіонів. Застосування теорії інтерполяційних функцій 3-х змінних до розв'язання технічних завдань, як відновлення в кожній точці (x, y, z) міжзональною системою свердловин (взагалі кажучи похилих)

$\Gamma_k(z) = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}$ скінченної множини елементів періодичної тубуляції боїх сполук з даними матричними функціями змінною z , де z – глибини свердловин, $\gamma_{k,i}(z)$, $k = \overline{1, M}$, $i = \overline{1, n}$ та знаходження оцінки запасів корисних копалин на основі результатів свердловинного буріння є велике практичне значення на сьогоднішній день [3, 4].

1. Постановка задачі

В даній роботі розглядається задача відновлення в кожній точці (x, y, z) міжзональною системою свердловин (взагалі кажучи похилими) $\Gamma_k(z) = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}$ скінченної множини корисних копалин боїх сполук з даними $\gamma_{k,i}(z)$, $k = \overline{1, M}$, $i = \overline{1, n}$, n – кількість сполук лінійної щільності i -го елементу в k -ій свердловині на глибині z , $-H \leq z \leq 0$. Тобто, ми обмежуємося не всім елементом періодичної тубуляції, лише n вибраними елементами. Зпропонованометод побудови інтерполяційного

оператораматричних функцій, кожен компонент якої лежить від трьох змінних системі кривих, тобто співпадає з наближеною матричною функцією у всіх свердловинах на заданій глибині, та дозволяє обчислювати значення цієї матричної функції в кожній точці міжзональних свердловин. Крім того, в роботі розглянуті способи оцінки запасів корисних копалин.

2. Математична модель просторового розподілу вмісту деякої сукупності корисних копалин в корі з даними з кернів свердловин методом інтерполяційних функцій

Загально відомим є метод розвідки корисних копалин, що ґрунтується на аналізі вмісту кернів свердловин, просвердлених в різних точках поверхні даного регіону. В роботі [5] істотно використувалося припущення про те, що всі свердловини вертикальні. Випадок використання даного для побудови математичних моделей просторового розподілу корисних копалин із кернів похилих свердловин у значенні монографії та інших джерелхвній не досліджувався.

Враховуючи викладене вище, кутальною є задача побудови матричної математичної моделі просторового розподілу фіксованої сукупності корисних копалин в корі з даними з кернів свердловин методом інтерполяційних функцій.

Введемо позначення:

$$\rho(x, y, z) = [\rho_1(x, y, z) \dots \rho_n(x, y, z)]^T,$$

$$\gamma_{k,i}(z) = \rho_i(X_k(z), Y_k(z), z), k = \overline{1, M}, i = \overline{1, n},$$

де $\rho(x, y, z)$ – матрична функція, як описує просторовий розподіл всієї сукупності досліджуваних нами корисних копалин, кожен стовпець якої є компоненти, які означають розподіл i -ої корисної копалини; $\gamma_{k,i}(z)$ – розподіл i -ої корисної копалини в k -ій свердловині.

$$\gamma_{k,i}(z) = [\gamma_{k,1}(z) \dots \gamma_{k,n}(z)]^T,$$

де $\rho_i(x, y, z)$, $i = \overline{1, n}$ – щільність i -ої корисної копалини.

Введемо також до розгляду допоміжні функції $H_k(x, y, z)$, що розглянуті у працях [5-6].

Допоміжні функції $H_k(x, y, z)$, $k = \overline{1, M}$, мають властивості $H_k(X_p(z), Y_p(z), z) = \delta_{k,p}$, $1 \leq k, p \leq M$.

Тоді математичною моделлю просторового розподілу сукупності a_n фіксованих корисних копалин між вибраною системою похилих свердловин будемо називати оператор

$$Op(x, y, z) = \sum_{k=1}^M H_k(x, y, z) \rho_k(z), \quad (1)$$

Введемо і дослідимо також оператори сплайн-інтерполяційних матричних функцій трьох змінних $\rho(x, y, z)$ на системі похилих свердловин

$$\Gamma_k = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}.$$

Введемо M допоміжних функцій

$$h_k(t) \in C[0,1], k = \overline{1, M},$$

з властивостями $h_k(0) = 0, h_k(1) = 1, k = \overline{1, M}$, та оператори

$$\begin{aligned} O_{\mu} \rho(x, y, z) = & \rho_{\mu_1}(z) h_{\mu_1} \left(\frac{\phi_{\mu_2, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right) + \\ & + \rho_{\mu_2}(z) h_{\mu_2} \left(\frac{\phi_{\mu_1, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right) + \\ & + \rho_{\mu_3}(z) h_{\mu_3} \left(\frac{\phi_{\mu_1, \mu_2}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right), \\ (x, y, z) \in T_{\mu} \subset D, z \in [-H, 0]. \end{aligned}$$

Теорем 1. Оператор $O_M \rho(x, y, z)$ має n ступнів властивості:

а) він є оператором інтерлінації функцій трьох змінних у системі кривих Γ_k , тобто дозволяє обчислювати значення цієї матричної функції

$$O_M \rho(X_k(z), Y_k(z), z) = \gamma_k(z), -H \leq z \leq 0, k = \overline{1, M};$$

$$\text{б) } \rho(x, y, z) \in C \left(\bigcup_{\mu} T_{\mu} \times [-H, 0] \right) \cap T_{\mu} \subset D \Rightarrow$$

$$O_M \rho(x, y, z) \in C \left(\bigcup_{\mu} T_{\mu} \times [-H, 0] \right);$$

в) якщо деякі (або всі) функції $\rho_i(x, y, z)$, $i = \overline{1, n}$ мають розв'язок в заданій системі точок $z_k, k = \overline{1, M}$, то і $O_M \rho(x, y, z)$ буде мати розв'язок.

Доведення. Інтерлінаційні властивості « $\Rightarrow$ » впливають на ступнів властивості детермінантів: детермінант з двома однаковими рядками дорівнює нулю. Тому, якщо $p \in \{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$, то

$$\begin{aligned} O_{\mu} \rho(x, y, z) = & \rho_{\mu_1}(z) h_{\mu_1} \frac{\phi_{\mu_2, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} + \\ & + \rho_{\mu_2}(z) h_{\mu_2} \frac{\phi_{\mu_1, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_2, \mu_1, \mu_3}(z)} + \\ & + \rho_{\mu_3}(z) h_{\mu_3} \frac{\phi_{\mu_1, \mu_2}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_3, \mu_1, \mu_2}(z)} = \rho_{\kappa}(z), \\ (x, y, z) \in T_{\mu}, z \in [-H, 0], p \in \{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}. \end{aligned}$$

Тут варто зауважити, що

$$\begin{aligned} \phi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z)) &= 1, \\ \phi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z)) &= 0, \\ \phi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z)) &= 0, \\ \phi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z)) &= 1, \\ \phi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z)) &= 0, \\ \phi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z)) &= 0, \end{aligned}$$

$$\phi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z)) = 1,$$

$$\phi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z)) = 0,$$

$$\phi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z)) = 0.$$

Іншими словами, оператор $O_M \rho(x, y, z)$ є оператором інтерлінації матричної функції кожного компонента яких залежить від трьох змінних у системі кривих Γ_k , тобто співпадає з матричною функцією у всіх свердловинах по глибині z , $-H \leq z \leq 0$, тобто дозволяє обчислювати значення цієї матричної функції в кожній точці (x, y, z) між свердловинами по глибині z [6].

Для доведення того, що

$$O_M \rho(x, y, z) \in C \left(\bigcup_{\mu} T_{\mu} \times [-H, 0] \right),$$

достатньо знати, що функції $O_{p,q,r} \rho(x, y, z)$ та $O_{p,q,r} \rho(x, y, z)$ на спільній стороні обох трикутників, що розміщені на площині, зі свердловинами $\Gamma_p(z)$ та $\Gamma_q(z)$ мають однакові сліди, тобто функція $\rho(x, y, z) = O_M \rho(x, y, z)$ при переході від трикутної призми з ребрами $\Gamma_p(z), \Gamma_q(z), \Gamma_r(z)$ до трикутної призми з ребрами $\Gamma_p(z), \Gamma_q(z), \Gamma_{r'}$ зберігає неперервність. Те, що для неперервних слідів $\rho_p(z) \in C[-H, 0], p = \overline{1, m}$ функції $\rho_{\mu}(x, y, z) = O_{\mu} \rho(x, y, z)$ теж будуть неперервними, впливає з формули для операторів $O_{\mu} \rho(x, y, z)$ і відомої властивості неперервних функцій: сум неперервних матричних функцій є неперервною матричною функцією.

Теорем 1 доведено.

Зуваження 1. Зокрема, в якості $h_k(t) \forall k = \overline{1, M}$ можна взяти $t^r, r = 1, 2$ і при цьому отриманий оператор $O_M \rho(x, y, z)$ — буде оператором інтерлінації матричної функцій $\rho(x, y, z)$, який дозволяє між заданою системою свердловин відновлювати матричну функцію $\rho(x, y, z)$ в кожній точці від (x, y, z) .

Зуваження 2. Якщо одна або всі з компонентів матриці $\rho(x, y, z)$ мають розриви першого роду на деяких глибинах, то оператор $O_M \rho(x, y, z)$ буде предствляти кожну розривну функцію від (x, y, z) .

Розглянемо для довільної $\rho(x, y, z) \in C(R^3)$ інтерлінаційні оператори

$$O_{M,\lambda}(\rho; x, y, z) = \sum_{k=1}^M \rho_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(x, y, z),$$

$$\lambda \geq 1, M = 2, 3, \dots,$$

з глобальними допоміжними функціями

$$\begin{aligned} \ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) &= \prod_{i=1, i \neq k}^M \frac{d_i(x, y, z)^{\lambda}}{d_{i,k}^{\lambda}} = \\ &= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(x, y, z)^{\lambda}}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^{\lambda}}, \end{aligned}$$

$$d_i(x, y, z) = \sqrt{(X_i(z) - x)^2 + (Y_i(z) - y)^2}; \quad [7].$$

$$d_{i,k} = \sqrt{(X_i(z) - X_k(z))^2 + (Y_i(z) - Y_k(z))^2}$$

Теорем 2. Для кожної $\rho(x, y, z) \in C(R^3)$ виконуються співвідношення

$$O_{M,\lambda}(\rho; x, y, z) \in C(R^3)$$

$$O_{M,\lambda}(\rho; X_p(z), Y_p(z), z) = \gamma_p(z), p = \overline{1, M},$$

Тобто кожн компонент м триці $\rho_i(x, y, z) \in C(R^3)$

Д о в е д е н н я. Дослідимо вл стивості допоміжних функцій $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$. Першз всез зн чимо, що зн менники $\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda$ у формул х для $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$ – ст лі величини і $d_{i,k}^\lambda > 0 \forall i, k \in \{1, \dots, M\}, i \neq k, \lambda > 0$,

чисельник – невід’ємн функція $\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(x, y, z)^\lambda \geq 0$. Тому[5]

$$\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) \geq 0 \forall k = \overline{1, M}; \lambda > 0.$$

Крім того,

$$\begin{aligned} \ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) &= \\ &= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(X_p(z), Y_p(z), z)^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \\ &= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(X_p(z), Y_p(z), z)^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \delta_{k,p}, \end{aligned}$$

$$k, p = \overline{1, M},$$

оскільки

$$\frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,p}^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \begin{cases} 1, p = k, \\ 0, \text{ якщо } p = i, p \in \{1, 2, \dots, M\}, p \neq k. \end{cases}$$

Т ким чином,

$$\ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) = \delta_{k,p}, k, p = \overline{1, M}.$$

Вр ховуючи це, можн з пис ти т ку послідовність рівностей:

$$\begin{aligned} O_{M,\lambda}(\rho; X_p(z), Y_p(z), z) &= \\ &= \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) = \\ &= \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \delta_{k,p} = \gamma_p(z), p = \overline{1, M}, \end{aligned}$$

оскільки функції $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$ – ск лярні,

$$\rho_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) -$$

буде м тем тичною функцією отрим ною перемноженням ск лярної функції $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$ н м тричну функцію $\rho_k(z)$.

Теорем 2 доведен .

2. Моделюв ння родовищ і оцінк з п сів

У якості прикл ду пр ктичного використ ння отрим них результ тів розглянемо процес створення повної моделі родовищ і оцінки його з п сів з звич й необхідний н ступний н бір інформ ції, введеної в комп’ютер: числові і текстові д ні:

1. По свердловин х:
 - координ ти гирл вироблень;
 - д ні інклінометрії;
 - д ні випробув ння;
 - інші х р ктеристики свердловин: к рот ж, вихід kern , гідрогеологія, літологія, стр тігр фія і т к д лі (див. рис. 1).

#	Hole_ID	East	North	RL	Asimuth	Dip	Final_Depth
1	D0001	12102.03906	9988.75977	60.81000137	357.82998600	-60.15999985	139.0
2	D0002	11697.30078	9983.07031	60.58000183	357.23000000	-59.77000046	145.0
3	D0003	12100.00000	9904.00000	60.00000000	0.000000000	-60.00000000	100.0
4	D0004	12000.00000	10027.00000	60.00000000	0.000000000	-55.00000000	177.5
5	RC001	11401.50977	10072.08008	61.36999893	354.89999390	-59.97999954	124.0
6	RC002	11498.44922	10040.50977	60.77000046	355.42001340	-60.13999939	166.0
7	RC003	11597.55078	10048.23047	60.45999908	355.45999150	-59.86000061	154.0
8	RC004	11696.52930	10060.64063	60.16999817	356.73001100	-60.34000015	112.0
9	RC005	11697.13086	9992.42969	60.52999878	356.58999630	-58.95999908	136.0
10	RC006	12200.85938	9970.90039	60.91999817	355.75000000	-59.75000000	130.0
11	RC007	12200.50977	10009.66992	60.70000076	357.57998600	-60.27999878	94.0
12	RC008	12102.64063	10034.24023	60.75999832	357.35000610	-59.75000000	100.0
13	RC009	12102.28906	9993.69922	60.77000046	356.63000490	-59.08000183	160.0
14	RC010	12102.23047	9889.18945	61.40999985	354.05999760	-59.72000122	130.0
15	RC011	12003.73047	10008.75977	60.63999939	356.32000730	-60.25999832	178.0
16	RC012	12003.19922	9889.47070	61.27000046	355.42001340	-61.11999893	148.0
17	RC013	12002.88086	9849.48047	61.77000046	357.47000120	-60.65999985	148.0
18	RC014	11903.33984	9821.58008	61.81000137	352.55999760	-60.56999969	148.0
19	RC015	12501.51953	9959.93945	60.86000061	357.80999760	-60.13999939	124.0
20	RC016	12501.73047	9910.23047	61.04000092	357.10000610	-59.84000015	112.0
21	RC017	11696.93945	10025.13086	60.40999985	358.80999760	-60.33000183	142.0
22	RC018	11645.90039	10062.13086	60.27000046	357.07998600	-60.16999817	142.0
23	RC019	11646.48047	10020.90039	60.50999832	359.23001100	-59.54000092	142.0
24	RC020	11646.22070	9980.58984	60.72000122	357.14999390	-60.09999847	142.0
25	RC021	11745.23047	10060.35938	60.06999969	357.04000850	-59.95999908	142.0

Рис. 1. Н бір д них для створення моделі родовищ

2. По поверхневих виробленнях (к н в м, тр н – шлям і тому подібне):

- к т лог м ркшейдерських кр пок по тр с х вироблень;
- д ні випробув ння;
- інші х р ктеристики вироблень (літологія, стр тігр фія, тектонік і т к д лі).

3. По випробув них підземних виробленнях:

- к т лог м ркшейдерських кр пок по тр с х вироблень;
- д ні випробув ння;
- інші х р ктеристики вироблень (літологія, стр тігр фія, тектонік і т к д лі).

Вся ця інформ ція вводиться з м ксимально достовірних джерел, з звич й безпосередньо н підприємстві, де з вжди легко отрим ти д ні, яких не вист ч є, бо необхідне роз’яснення з незрозумілих пит нь. Б ж но, щоб в цій роботі бр ли уч сть геологи, обізн ні стосовно родовищ . Це зн чно скорочує ч с роботи, полегшує пошук необхідних д них і їх сортув ння (див. рис. 2).

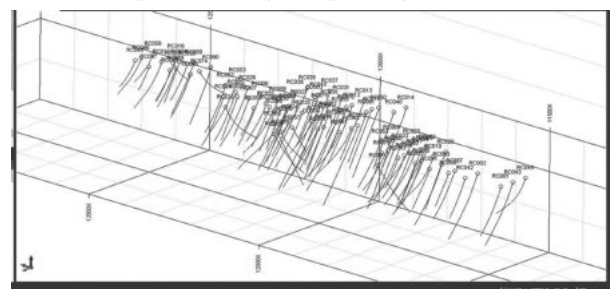


Рис. 2. Побудов свердловин по д ним розвід

3. Обчислення з п сів корисних коп лин з д ними з кернів похилих свердловин

Розглянемо множину точок

$$\Gamma_k = (x_k(z), y_k(z), z), k = \overline{1, M},$$

що не лежить опуклій оболонці D . Обл сть D — це циліндричн обл сть опуклої оболонки свердловин. Розіб'ємо D на трикутники. Для довільного трикутника при з д них вершин х побудуємо нескінченну обл сть D_{ijk} , як буде трикутником з з д ними вершин ми при кожному зн ченні змінної z :

$$D_i(x_i(z), y_i(z), z), D_j(x_j(z), y_j(z), z), D_k(x_k(z), y_k(z), z), i \neq j \neq k, i, j, k \in \{1, 2, \dots, M\}.$$

Обл сть D_{ijk} буде циліндричною обл стю, п р лельною осі Oz , що м є форму трикутної призми.

Для обчислення з п сів корисних коп лин на основі д них з кернів свердловинного буріння вв ж ємо, що у свердловин х — обл сті D_{ijk} н м з д ні числ :

— глибини точок у свердловин х, які відповід ють верхній точці з ляг ння пл ст корисної коп лини

$$z_{\max}(x, y) = \max\{z_{1\max}(x, y), z_{2\max}(x, y), \dots, z_{M\max}(x, y)\}$$

— глибини точок у свердловин х, які відповід ють нижній точці з ляг ння пл ст корисної коп лини

$$z_{\min}(x, y) = \min\{z_{1\min}(x, y), z_{2\min}(x, y), \dots, z_{M\min}(x, y)\},$$

отрим ні шляхом н лізу вмісту кернів свердловинного буріння.

Введемо до розгляду систему функцій

$$w_{jki}(x, y) = \frac{1}{\Delta_{jki}} \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ X_k(z) & Y_k(z) & 1 \\ X_i(z) & Y_i(z) & 1 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{jki} = \begin{vmatrix} X_j(z) & Y_j(z) & 1 \\ X_k(z) & Y_k(z) & 1 \\ X_i(z) & Y_i(z) & 1 \end{vmatrix}$$

$$\tilde{f}_{ijk}(x, y, z_{\max}(x, y)) = w_{ijk}(x, y)\gamma_i(z_{i,\max}(x, y)) + w_{jki}(x, y)\gamma_j(z_{j,\max}(x, y)) + w_{kij}(x, y)\gamma_k(z_{k,\max}(x, y)),$$

$$z_{\max}(x, y) = \tilde{f}_{ijk}(x, y, z_{\max}(x, y)), (x, y) \in P_i P_j P_k$$

Поверхня $u = z_{\max}(x, y)$ є кусково-лінійною поверхнею. Її гр фік є б г тогр нником, кожн гр нь якого є площиною, як проходить через точки

$$(X_i, Y_i, \gamma_i(z_{i,\max}(x, y))), (X_j, Y_j, \gamma_j(z_{j,\max}(x, y))), (X_k, Y_k, \gamma_k(z_{k,\max}(x, y))).$$

Якщо вв ж ти, що н глибин х

$$(z_{i,\max}(x, y)), (z_{j,\max}(x, y)), (z_{k,\max}(x, y))$$

щільності розподілу корисних коп лин одн кові $\rho_{i,\max} = \rho_{j,\max} = \rho_{k,\max} = \rho_{\max}$, то гр фік функції

$$z_{\max}(x, y) = f_{ijk}(x, y, z_{\max}),$$

$$(x, y) \in P_i P_j P_k.$$

$$f_{ijk}(x, y, z_{\max}) = w_{ijk}(x, y)z_{i,\max}(x, y) + w_{jki}(x, y)z_{j,\max}(x, y) + w_{kij}(x, y)z_{k,\max}(x, y) -$$

є поверхнею, як описує д х родовищ .

Якщо н глибин х

$$(z_{i,\min}(x, y)), (z_{j,\min}(x, y)), (z_{k,\min}(x, y))$$

щільності розподілу корисних коп лин одн кові

$$\rho_{i,\min}(x, y) = \rho_{j,\min}(x, y) = \rho_{k,\min}(x, y) = \rho_{\min}(x, y),$$

то гр фік функції

$$z_{\min}(x, y) = f_{ijk}(x, y, z_{\min}),$$

$$(x, y) \in P_i P_j P_k,$$

$$f_{ijk}(x, y, z_{\min}) = w_{ijk}(x, y)z_{i,\min}(x, y) + w_{jki}(x, y)z_{j,\min}(x, y) + w_{kij}(x, y)z_{k,\min}(x, y) -$$

є поверхнею, як описує підшву родовищ .

Тоді оцінку об'єму з п сів корисної коп лини можн обчислити з формулою (при умові, що між поверхнями д ху і підшви родовищ щільність ст л $\rho_{\max}(x, y) = \rho_{\min}(x, y) = \rho(x, y)$)

$$V = \rho \iint_D (z_{\max}(x, y) - z_{\min}(x, y)) dx dy.$$

Нех й щільність корисної коп лини в i -й свердловині буде з д н у вигляді

$$\rho_i(z) = \begin{cases} 0, & z \geq z_{i\max} \\ \rho, & z_{i\min} \leq z \leq z_{i\max} \\ 0, & z \leq z_{i\min} \end{cases}.$$

Тоді оцінку об'єму з п сів корисних коп лин можн обчислити з формулою

$$V_j = \iint_D \left\{ \int_{z_{\min}(x, y)}^{z_{\max}(x, y)} \rho_j(x, y, z) dz \right\} dx dy,$$

де функція $f(x, y, z)$ — всюду визн чен , де $\rho_i(z)$.

Висновки

Т ким чином, у д ній роботі розглянуто з д чу про відновлення в кожній точці (x, y, z) між з д -ною системою свердловин (вз г лі к жучи похилих)

$$\Gamma_k(z) = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}$$

скінченної множини деякої сукупності корисних коп лин бо їх сполук з д ними про розподіл всіх компонентів цієї м триці-функції в д ній системі свердловин $\gamma_{k,i}(z), k = \overline{1, M}, i = \overline{1, n}$, n — кількість елементів сполук лінійної щільності i -го елемент в k -ій свердловині н глибині z , $-H \leq z \leq 0$. Крім того, в роботі розглянуті способи оцінки з п сів корисних коп лин. На основі з пропозованих м тричних м тем тичних моделей можуть бути створені нові ефективні методи розвідки корисних коп лин т розробки родовищ.

Список літератури. 1. Брон Ю.Л. «О проблеме технологического моделирования». «Моделирование технологических процессов угольных шахт» // Сборник докладов научного семинара, Институт А.А. Сковинского. — 1993. 2. Бок М.Т., Редчиц В.С., Нерльнич Я.В., Геометризация родовищ полезных ископаемых: Учебный пособие. — Житомир: ЖІТІ, 2002. — 180с. 3. Литвин О.Н. Общий метод построения уравнений кривых и поверхностей в неявной форме с помощью интерлиниции и интерфлексии функций / О. Н. Литвин, А. В. Ткаченко, О.О. Литвин // Кибернетика и системный анализ. — 2011. — № 1. С. 62-67. 4. Сергиенко И.В. Метод интерлиниции вектор-функций $w(x, y, z, t)$ в системе и его применение в межскважинной сейсмической томографии / И.В. Сергиенко, В.С. Дейнека, О.Н.Литвин, О.О. Литвин // Кибернетика и системный анализ. — Том 49. — 2013. — № 3. С. 61-73. 5. Литвин О.М. Інтерліній функцій та деякі її застосування. — Харків: Основа, 2002. — 544 с. 6. Литвин О.О. Математичне моделювання тривимірного розподілу корисних копалин з даними про них в системі похилих свердловин / Коваль Ф.Ф., Чорн О.С. // Бионик интеллект: науч.-тех. Журнал. — 2014. — №2 (83). — С.83-87. 7. Литвин О.М. Математична модель просторового розподілу вмісту деякої сукупності корисних копалин в корі з даними з кернів свердловин методом інтерліній функцій / Литвин О.О., Коваль Ф.Ф., Чорн О.С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. — Харків: НТУ «ХПІ», 2016. — №6 (1178). — С. 46-50.

Resume

O.M.Lytvyn, O.O.Lytvyn, O.S.Chorna MATHEMATICAL SPATIAL MINERALS DISTRIBUTING MODEL OF INTERLINEATION MATRIX-FUNCTIONS METHODS

Background: The counting of mineral resources is an important and responsible operation that completes the comprehensive study of the deposit and determines its industrial value. Inventory counting is subordinated to the basic requirement - strict accounting for the wealth of the subsoil, rational and integrated use. Mathematical modeling takes a leading place in mining and economic analysis. This method makes it possible to choose the optimal operating modes for mining equipment, determine the best parameters for the reconstruction of existing mining and construction of new mining enterprises, and solve the problems of complex development of mining regions.

Materials and methods: The methods of interlineation function are used to construct a matrix mathematical model of the spatial distribution of a fixed aggregate of minerals in the cortex from data from wellbores.

Results. The problem of restoring at each point between a given system of wells (generally inclined) of a finite set periodic table elements or their connections of linear density at a given depth is investigated. A method is proposed for constructing an interlining operator for matrix functions, each component of which depends on three variables on the system of curves, that is, it coincides with the approximate matrix function in all wells at a given depth, and allows the calculation of the value of this matrix function at each point between the wells.

Conclusion: In this paper, we consider the problem of restoring at each point between a given system of wells (generally inclined) of a finite set of a certain set of minerals or their compounds from data on the distribution of all components of this matrix function in a given well system. In addition, the paper considers methods for estimating mineral resources. On the basis of the proposed matrix mathematical models, new methods of prospecting for minerals and developing deposits can be created.

Ндійшло до редакції 12.09.2017

УДК 517.988 : 519.632



М.В. Сидоров

Харківський національний університет радіоелектроніки,
м. Харків, Україна, maxim.sidorov@nure.ua

ЗАСТОСУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ R-ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ КОНУСНОГО ВІДРІЗКА ПРИ ЧИСЕЛЬНІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ ДВОБІЧНИХ ІТЕРАЦІЙНИХ МЕТОДІВ

Розглянуто нелінійне еліптичне рівняння з однорідною умовою Діріхле. Методом функцій Грін від диференціальної з задачі виконано перехід до еквівалентного нелінійного інтегрального рівняння Гаммерштейна. Для чисельного знаходження додатного розв'язку інтегрального рівняння, розглянувши його як операторне рівняння в просторі неперервних функцій з півпорядковому конусом невід'ємних функцій, з допомогою методів нелінійного аналізу, зокрема, теорії гетеротонних операторів, запропоновано двобічний ітерційний метод, у якому для побудови початкового конусного відрізка використано метод R-функцій. Ефективність розробленого чисельного методу проілюстровано серією обчислювальних експериментів.

НЕЛІНІЙНА КРАЙОВА ЗАДАЧА, ДОДАТНИЙ РОЗВ'ЯЗОК, МЕТОД ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ,
КОНУСНИЙ ВІДРІЗОК, МЕТОД R-ФУНКЦІЙ

Сидоров М.В. Применение конструктивных методов теории R-функций для построения конусного отрезка при численной реализации двусторонних итерционных методов. Рассмотрено нелинейное эллиптическое уравнение с однородным условием Дирихле. Методом функций Грина от дифференциальной задачи выполнено переход к эквивалентному нелинейному интегральному уравнению Гаммерштейна. Для численного нахождения положительного решения интегрального уравнения, рассмотрев его как операторное уравнение в пространстве непрерывных функций полуупорядоченном конусе неотрицательных функций, с помощью методов нелинейного анализа, в частности, теории гетеротонных операторов, предложен двусторонний итерционный метод, в котором для построения начального конусного отрезка использован метод R-функций. Эффективность разработанного численного метода проиллюстрирована серией вычислительных экспериментов.

НЕЛИНЕЙНАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА, ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ, МЕТОД ДВУСТОРОННИХ ПРИБЛИЖЕНИЙ, КОНУСНЫЙ ОТРЕЗОК, МЕТОД R-ФУНКЦИЙ

Sidorov M.V. Application of constructive methods of the theory of R-functions for construction of a cone segment in the numerical realization of two-sided iterative methods. A nonlinear elliptic equation with a homogeneous Dirichlet condition is considered. A transition from the differential problem to the equivalent nonlinear integral Hammerstein equation is made by the method of Green's functions. To find the positive solution of the integral equation, considered as an operator equation in the space of continuous functions that is semi-ordered by a cone of nonnegative functions, using the methods of nonlinear analysis, in particular, the theory of heterotone operators, we proposed a two-sided iteration method in which to construct the initial cone segment we used the R-function method. The effectiveness of the developed numerical method is illustrated by a series of computational experiments.

NONLINEAR BOUNDARY VALUE PROBLEM, POSITIVE SOLUTION, TWO-SIDED METHODS,
CONE SEGMENT, R-FUNCTIONS METHOD

Вступ

Проблема точного моделювання біологічних системних процесів, що розглядаються у хімічній кінетиці, біології, теорії горіння тощо [1] призводить до необхідності знаходження додатних розв'язків нелінійних еліптичних крайових задач.

Ті, з чі були досліджені у біологічних роботах [2–5], автори цих робіт зосереджували увагу в основному на з'ясуванні умов існування т.є. єдиності додатного розв'язку з задачі. Для знаходження чисельного розв'язку використовуються методи скінченних різниць, скінченних елементів [1, 6, 7] або ітерційні методи з двобічним критерієм збіжності [6, 8–11]. При застосуванні двобічних ітерційних методів будується дві ітерційні послідовності (верхніх та нижніх розв'язків), які з обох боків збігаються до точного розв'язку з задачі, що дозволяє кожному

кроці ітерційного процесу мати постеріорну оцінку похибки, отже, і зручний критерій зкінчення ітерцій. Тому, на нашу думку, саме остання група методів є найбільш привабливою з точки зору обчислювальної математики. Побудов двобічних методів знову не використані теорії нелінійних операторів у півпорядкованому просторі X [2–4].

Отже, побудову вдосконалення двобічних ітерційних методів розв'язання нелінійних еліптичних крайових задач є актуальною науковою проблемою.

Метою роботи є застосування конструктивного підходу теорії R-функцій до побудови сильно інваріантного конусного відрізка, кінці якого є початковими наближеннями при побудові двобічних ітерційних послідовностей до додатного розв'язку нелінійної еліптичної крайової задачі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

– розглянути поставку нелінійної еліптичної крайової задачі з мінімізації операторним рівнянням з гетеротонним оператором;

– з використанням теорії нелінійних операторів у півпорядкованому просторі конструктивних засобів теорії R -функцій розробити ітерційний метод розв'язання розглядуваної задачі;

– провести обчислювальні експерименти для різних областей і проаналізувати результати.

Дані роботи продовжує дослідження, розпочати у [8–11].

1. Постановка задачі

Розглядаємо проблему знаходження доданого розв'язку нелінійної крайової задачі вигляду

$$-\Delta u = f(x, u) \text{ у } \Omega, \quad (1)$$

$$u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (2)$$

де $\Omega \subset \mathbb{R}^m$ – обмежена область з кусково-гладкою межею $\partial\Omega$, $f(x, u)$ – невід'ємна неперервна з кусковистістю змінних x, u функція, якщо $x \in \Omega, u \geq 0$.

У практичних застосуваннях праві частини рівняння (1) дорівнює $\lambda u^p, \lambda(1+u)^p, \lambda+u^p, \lambda e^u, \frac{\lambda}{(1-u)^2}$ тощо [1, 7]. Точні розв'язки задачі (1), (2) відомі лише для невеликої кількості поодиноких випадків праві частини $f(x, u)$ та області Ω .

2. Побудова двобічних наближень

Нехай $C(\bar{\Omega})$ – банаховий простір неперервних у $\bar{\Omega} = \Omega \cup \partial\Omega$ функцій з нормою $\|u\| = \max_{x \in \bar{\Omega}} |u(x)|$.

Виділимо у $C(\bar{\Omega})$ конус $K_+ = \{u \in C(\bar{\Omega}) : u(x) \geq 0, x \in \bar{\Omega}\}$ невід'ємних функцій. Значимо, що конус K_+ у $C(\bar{\Omega})$ є нормальним (і навіть гострим) [2, 3].

З допомогою конуса K_+ у просторі $C(\bar{\Omega})$ введемо півпорядкованість з правим вином: для $u, v \in C(\bar{\Omega})$ $u \leq v$, якщо $v - u \in K_+$, тобто

$$u \leq v, \text{ якщо } u(x) \leq v(x) \text{ для всіх } x \in \bar{\Omega}.$$

Від задачі (1), (2) перейдемо до інтегрального рівняння Гаммерштейна

$$u(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) f(\xi, u(\xi)) d\xi, \quad (3)$$

де $G(x, \xi)$ – функція Грін першої крайової задачі для оператора $-\Delta$ у області $\Omega, x = (x_1, \dots, x_m), \xi = (\xi_1, \dots, \xi_m)$.

Означення 1. Розв'язком (узгаданим) задачі (1), (2) називаємо функцію $u^* \in C(\bar{\Omega})$, яка є розв'язком рівняння (3).

Введемо у розгляд нелінійний інтегральний оператор T , який діє у $C(\bar{\Omega})$ з правим вином, яке визначається правим вином рівняння (3):

$$T(u) = \int_{\Omega} G(x, \xi) f(\xi, u(\xi)) d\xi. \quad (4)$$

Оскільки $f(x, u) \geq 0$, якщо $x \in \Omega$, то $G(x, \xi) \geq 0, x, \xi \in \Omega, x \neq \xi$, то оператор T є додатним, тобто злиши є інваріантним конус $K_+ : T(K_+) \subset K_+$.

Нехай функція $f(x, u)$ дозволяє дігнати подання $f(x, u) = \hat{f}(x, u, u)$, де неперервна з кусковистістю змінних x, v, w функція $\hat{f}(x, v, w)$ монотонно зростає з v і монотонно спадє з w для всіх $x \in \Omega$. Тоді оператор T вигляду (4) буде гетеротонним з супровідним оператором

$$\hat{T}(v, w) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v(\xi), w(\xi)) d\xi. \quad (5)$$

Зуважимо, що для випадку, коли функція $f(x, u)$ монотонно зростає з u для всіх $x \in \Omega$, можна обрати $\hat{f}(x, v, w) = f(x, v)$, для монотонно спадної з u функції $f(x, u)$ можна покласти $\hat{f}(x, v, w) = f(x, w)$.

Оператори T і $\hat{T}$ є цілком неперервними [2, 3].

У конусі K_+ виділимо сильно інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$ умови

$$\hat{T}(v_0, w_0) \geq v_0, \hat{T}(w_0, v_0) \leq w_0,$$

тобто

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v_0(\xi), w_0(\xi)) d\xi \geq v_0(x) \text{ для всіх } x \in \bar{\Omega},$$

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, w_0(\xi), v_0(\xi)) d\xi \leq w_0(x) \text{ для всіх } x \in \bar{\Omega}.$$

Сформуємо ітерційний процес з схемою

$$v^{(k+1)} = \hat{T}(v^{(k)}, w^{(k)}), w^{(k+1)} = \hat{T}(w^{(k)}, v^{(k)}),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, v^{(0)} = v_0, w^{(0)} = w_0,$$

тобто

$$v^{(k+1)}(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v^{(k)}(\xi), w^{(k)}(\xi)) d\xi, \quad (6)$$

$$w^{(k+1)}(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, w^{(k)}(\xi), v^{(k)}(\xi)) d\xi, \quad (7)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

$$v^{(0)}(x) = v_0(x), w^{(0)}(x) = w_0(x). \quad (8)$$

З огляду на сильну інваріантність побудованого конусного відрізка гетеротонність операторів $T, \hat{T}$ для якого оператор $\hat{T}$ є супровідним, можна зробити висновок про те, що послідовність $\{v^{(k)}(x)\}$ не спадє з конусом K_+ , послідовність $\{w^{(k)}(x)\}$ не зростає з конусом K_+ . Крім того, з нормальності конуса K_+ і цілком неперервності операторів $T, \hat{T}$ вплив існування граничних $v^*(x)$ і $w^*(x)$ цих послідовностей. Отже, сподівається ланцюг нерівностей

$$v_0 = v^{(0)} \leq v^{(1)} \leq \dots \leq v^{(k)} \leq \dots \leq v^* \leq$$

$$\leq w^* \leq \dots \leq w^{(k)} \leq \dots \leq w^{(1)} \leq w^{(0)} = w_0.$$

Функції v^* і w^* є розв'язком системи рівнянь

$$v^* = \hat{T}(v^*, w^*), w^* = \hat{T}(w^*, v^*),$$

тобто системи

$$v^*(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v^*(\xi), w^*(\xi)) d\xi,$$

$$w^*(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, w^*(\xi), v^*(\xi)) d\xi.$$

Якщо ж отримали, що $v^* = w^* = u^*$, то u^* — єдиний конусному відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$ нерухомою точкою оператора T , отже, u^* — єдиний розв'язок крайової задачі (1), (2).

Достатньою умовою виконання рівності $v^* = w^*$ є умов [12] існування такого $\alpha \in (0; 1)$, що для всіх $v, w \in \langle v_0, w_0 \rangle$

$$\|\hat{T}(v, w) - \hat{T}(w, v)\| \leq \alpha \|v - w\|.$$

Нехай функція $\hat{f}(x, v(x), w(x))$ для всіх доданих чисел v, w і для всіх $x \in \Omega$ задовольняє нерівність

$$|\hat{f}(x, v, w) - \hat{f}(x, w, v)| \leq L|v - w|, \quad (9)$$

де $L > 0$.

Тоді має місце оцінка

$$\|\hat{T}(v, w) - \hat{T}(w, v)\| \leq LM \|v - w\|, \quad (10)$$

де $M = \max_{x \in \Omega} \int_{\Omega} G(x, \xi) d\xi$.

Далі на основі оцінки (10) отримуємо, що

$$\begin{aligned} \|w^{(k)} - v^{(k)}\| &= \|\hat{T}(w^{(k-1)}, v^{(k-1)}) - \hat{T}(v^{(k-1)}, w^{(k-1)})\| \leq \\ &\leq LM \|w^{(k-1)} - v^{(k-1)}\| \leq \dots \leq (LM)^k \|w^{(0)} - v^{(0)}\|. \end{aligned}$$

Отже, спривджується теорема.

Теорема 1. Нехай гетеротонний оператор T вигляду (4), для якого оператор $\hat{T}$ вигляду (5) є супровідним, має сильно інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$ і виконується нерівність (9), причому $LM < 1$. Тоді ітерційний процес (6) — (8) збігється до єдиного у $\langle v_0, w_0 \rangle$ розв'язку u^* крайової задачі (1), (2), причому має місце нерівність

$$\begin{aligned} v_0 = v^{(0)} \leq v^{(1)} \leq \dots \leq v^{(k)} \leq \dots \leq u^* \leq \\ \leq \dots \leq w^{(k)} \leq \dots \leq w^{(1)} \leq w^{(0)} = w_0 \end{aligned}$$

і

$$\|w^{(k)} - v^{(k)}\| \leq (LM)^k \|w_0 - v_0\|. \quad (11)$$

Іншою умовою, яка забезпечить єдиність доданого розв'язку крайової задачі (1), (2), є u_0 -псевдоувітність оператора T вигляду (4) [3].

Перевагою побудованих двобічних ітерційних процесів є те, що на кожній k -й ітерції ми маємо зручну постеріорну оцінку похибки для наближеного розв'язку $u^{(k)}(x) = \frac{1}{2}(w^{(k)}(x) + v^{(k)}(x))$:

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{1}{2} \|w^{(k)} - v^{(k)}\|.$$

Тоді, якщо задана точність $\varepsilon > 0$, то ітерційний процес слід проводити до виконання нерівності

$\max_{x \in \Omega} (w^{(k)}(x) - v^{(k)}(x)) < 2\varepsilon$ і з точністю ε можна вважати, що $u^*(x) \approx u^{(k)}(x)$.

Тож з нерівності (11) можна отримати оцінку для кількості ітерцій, необхідних для досягнення заданої точності. Дійсно, з нерівностей

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{1}{2} \|w^{(k)} - v^{(k)}\| \leq \frac{(LM)^k}{2} \|w_0 - v_0\| < \varepsilon$$

знаходимо, що для досягнення точності ε треба зробити

$$k_0(\varepsilon) = \left\lceil \frac{\ln \frac{\|w_0 - v_0\|}{2\varepsilon}}{\ln \frac{1}{LM}} \right\rceil + 1$$

ітерцій, де квадратні дужки позначають цілу частину чисел.

Але, незважаючи на переваги побудованого двобічного ітерційного методу, практичного його реалізація з лежить від можливості побудови сильно інваріантного конусного відрізка $\langle v_0, w_0 \rangle$. Крім того, цей відрізок треба брати якомога меншої довжини $\|w_0 - v_0\|$, щоб забезпечити мінімальність кількості ітерцій $k_0(\varepsilon)$.

У [3] запропоновано такий спосіб побудови сильно інваріантного конусного відрізка. Відомо [3], що можна взяти множину Ξ ненульової міри таку, що

$$\int_{\Omega_1} G(x, \xi) d\xi \geq \varepsilon_0 > 0, \quad x \in \Xi.$$

Якщо існують числа v, w такі, що $0 \leq v \leq w$ і

$$\hat{f}(x, v, w) \geq \alpha v, \quad \hat{f}(x, w, v) \leq \beta w, \quad x \in \Omega, \quad (12)$$

де $\alpha \geq \varepsilon_0^{-1}$, $\beta \leq \|G\|$ ($\|G\|$ — норма лінійного оператора $G(u) = \int_{\Omega} G(x, \xi) u(\xi) d\xi$ у просторі $C(\bar{\Omega})$), то сильно інваріантний конусний відрізок визначається функціями

$$v_0(x) = v\chi(x), \quad w_0(x) = w,$$

де $\chi(x)$ — характеристична функція множини Ξ .

Обмеженість цього підходу викликана вимогами (12), накладеними на функцію $\hat{f}(x, v, w)$.

Тож сильно інваріантний конусний відрізок можна шукати у вигляді $\langle v_0, w_0 \rangle = \langle 0, \beta \rangle$, $\beta > 0$ [9–11]. Тоді нерівності, які визначають v_0, w_0 приймуть вигляд

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, 0, \beta) d\xi \geq 0 \quad \text{для всіх } x \in \bar{\Omega},$$

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, \beta, 0) d\xi \leq \beta \quad \text{для всіх } x \in \bar{\Omega}.$$

Перш за цих нерівностей завжди виконано, якщо $\hat{f}(x, 0, \beta) \geq 0$ для всіх $x \in \Omega$, $\beta > 0$, знаходження β можна знайти з другої нерівності. Недоліком цього підходу є те, що з умови $\hat{f}(x, 0, \beta) = 0$ для всіх $x \in \Omega$ і $\beta > 0$, для нижніх наближень отримуємо стійку послідовність $v^{(k)}(x) = 0$, $k = 0, 1, 2, \dots$

Цей недолік вперше було подолано у роботі [11], коли нижню межу конусного відрізка було запропоновано шукати у вигляді $v_0(\mathbf{x}) = \alpha\omega(\mathbf{x})$, де функція $\omega(\mathbf{x})$ додатна в Ω і дорівнює нулю на $\partial\Omega$. Тоді функція $\omega(\mathbf{x})$ може бути побудована методом R -функцій.

З іншого боку конструктивний підхід теорії R -функцій, який дозволяє дати точний нелінійний опис геометрії області Ω , у якій розглядається здача (1), (2), можна застосувати для побудови обох кінців сильноінваріантного конусного відрізка v_0, w_0 .

Нехай межа $\partial\Omega$ області Ω складається зі скінченної кількості кусків ліній $\sigma_i(\mathbf{x}) = 0$, $i = 1, 2, \dots, s$, де кожен $\sigma_i(\mathbf{x})$ — елементарна функція. Тоді з допомогою методу R -функцій [13] можна побудувати у вигляді єдиного нелінійного виразу елементарну функцію $\omega(\mathbf{x})$ так, що:

- а) $\omega(\mathbf{x}) > 0$ у Ω ;
- б) $\omega(\mathbf{x}) = 0$ на $\partial\Omega$;
- в) $|\nabla\omega(\mathbf{x})| \neq 0$ на $\partial\Omega$.

З кривової умови (2) випливає, що розв'язок кривової задачі (1), (2) не лежить жодному з функцій $\omega\Phi$, де Φ — деяка обмежена функція. Тоді сильноінваріантний конусний відрізок можна шукати у вигляді $\langle v_0, w_0 \rangle = \langle \alpha\omega(\mathbf{x}), \beta\omega(\mathbf{x}) \rangle$, де α, β , $0 \leq \alpha < \beta$, задовольняють системі нерівностей

$$\int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \hat{f}(\xi, \alpha\omega(\xi), \beta\omega(\xi)) d\xi \geq \alpha\omega(\mathbf{x}) \text{ для всіх } \mathbf{x} \in \bar{\Omega},$$

$$\int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \hat{f}(\xi, \beta\omega(\xi), \alpha\omega(\xi)) d\xi \leq \beta\omega(\mathbf{x}) \text{ для всіх } \mathbf{x} \in \bar{\Omega}.$$

Отже, якщо остання систем нерівностей розв'язані, то існує сильноінваріантний конусний відрізок вигляду $\langle \alpha\omega(\mathbf{x}), \beta\omega(\mathbf{x}) \rangle$ і з умов теореми 1 ітерційний процес (6), (7) двобічно збігається з початкового наближення $v^{(0)}(\mathbf{x}) = \alpha\omega(\mathbf{x})$, $w^{(0)}(\mathbf{x}) = \beta\omega(\mathbf{x})$ до єдиного у $C(\bar{\Omega})$ узагальненого розв'язку з задачі (1), (2), причому для наближеного розв'язку $u^{(k)}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(w^{(k)}(\mathbf{x}) + v^{(k)}(\mathbf{x}))$ має місце оцінка

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{\beta - \alpha}{2} (LM)^k \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \omega(\mathbf{x}). \quad (13)$$

3. Результати обчислювального експерименту

Для обчислювального експерименту обемо привабливу рівняння (1) у вигляді $f(\mathbf{x}, u) = \lambda\sqrt{1+u}$, $\lambda > 0$, і розглянемо здачу

$$-\Delta u = \lambda\sqrt{1+u} \text{ у } \Omega, \quad (14)$$

$$u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (15)$$

у двох областях ($m = 2$)

$$\Omega_1 = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2) : x_1^2 + x_2^2 < 1\},$$

$$\Omega_2 = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2) : x_1^2 + x_2^2 < 1, x_2 > 0\}.$$

Оскільки функція $f(\mathbf{x}, u) = \lambda\sqrt{1+u}$ монотонно зростає з u , то $\hat{f}(\mathbf{x}, v, w) = \lambda\sqrt{1+v}$. Нерівність (9)

виконується з $L = \frac{\lambda}{2}$, оскільки

$$|\lambda\sqrt{1+v} - \lambda\sqrt{1+w}| \leq \frac{\lambda}{2}|v-w|.$$

У просторі $C(\bar{\Omega})$ здачу (14), (15) еквівалентно інтегральному рівнянню Гаммерштейна

$$u(\mathbf{x}) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+u(\xi)} d\xi. \quad (16)$$

Супровідний для гетеротонного (ізотонного) якостинний вираз оператор

$$T(u) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+u(\xi)} d\xi \quad (17)$$

має вигляд

$$\hat{T}(v, w) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+v(\xi)} d\xi.$$

Нерівності, що визначають конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle = \langle \alpha\omega(\mathbf{x}), \beta\omega(\mathbf{x}) \rangle$, сильноінваріантний для оператор (17), мають вигляд ($0 \leq \alpha < \beta$)

$$\lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+\alpha\omega(\xi)} d\xi \geq \alpha\omega(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}, \quad (18)$$

$$\lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+\beta\omega(\xi)} d\xi \leq \beta\omega(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}. \quad (19)$$

Двобічний ітерційний процес послідовних наближень до розв'язку рівняння (16) (отже, і з задачі (14), (15)) сформуємо зсхемою

$$v^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+v^{(k)}(\xi)} d\xi, \quad (20)$$

$$w^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+w^{(k)}(\xi)} d\xi, \quad (21)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

$$v^{(0)}(\mathbf{x}) = \alpha\omega(\mathbf{x}), \quad w^{(0)}(\mathbf{x}) = \beta\omega(\mathbf{x}).$$

Для одиничного кола Ω_1 маємо

$$\omega(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(1 - x_1^2 - x_2^2), \quad G(\mathbf{x}, \xi) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{\rho r_{x\xi^1}}{r_{x\xi}},$$

де $\rho = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2}$, точки ξ і ξ^1 симетричні відносно кола одиничного радіуса, $r_{x\xi}$, $r_{x\xi^1}$ — відстані між точками $\mathbf{x}$, ξ і $\mathbf{x}$, ξ^1 відповідно.

Знаходимо

$$\max_{\mathbf{x} \in \Omega} \omega(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}, \quad M = \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) d\xi = \frac{1}{4}.$$

Тоді, якщо систем (18), (19) розв'язані, ітерційний процес (20), (21) двобічно збігається до єдиного у $\langle v_0, w_0 \rangle$ розв'язку з задачі (14), (15) зумови

$$LM = \frac{\lambda}{8} < 1,$$

тобто при $\lambda < 8$, і має місце оцінка (13).

Обчислювальний експеримент було проведено для знаходження $\lambda = 1$. Розв'язком системи (18), (19) є, наприклад, числа $\alpha = 0,5319$, $\beta = 0,5489$. Тоді оцінка (13) набуде вигляду

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{0,5489 - 0,5319}{2} \cdot \frac{1}{8^k} \cdot \frac{1}{2} \approx \frac{0,425 \cdot 10^{-2}}{8^k}.$$

Звідси для кількості ітерцій, необхідних для досягнення точності ε , отримуємо зн чення

$$k_0(\varepsilon) = \left\lceil \frac{\ln \frac{0,425 \cdot 10^{-2}}{\varepsilon}}{\ln 8} \right\rceil + 1.$$

В т блиці 1 н ведено зн чення $k_0(\varepsilon)$ для деяких зн чень $\varepsilon > 0$.

Т блиця 1

Зн чення $k_0(\varepsilon)$ для деяких ε

ε	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
$k_0(\varepsilon)$	0	0	1	2	3	5

Оберемо $\varepsilon = 10^{-5}$. В т блиці 2 н ведено зн чення $\varepsilon^{(k)} = \max_{x \in \Omega} \frac{1}{2} |w^{(k)}(x) - v^{(k)}(x)|$ оцінки похибки н ближеного розв'язку $u^{(k)}(x)$, $k = 0, 1, 2, 3$, в т - блиці 3 – зн чення н ближень $w^{(k)}(x)$, $u^{(k)}(x)$ т $v^{(k)}(x)$, $k = 0, 1, 2, 3$, в точці $(0; 0)$.

Т блиця 2

Зн чення оцінки похибки н ближеного розв'язку

k	0	1	2	3
$\varepsilon^{(k)}$	$0,425 \cdot 10^{-2}$	$0,361 \cdot 10^{-3}$	$0,288 \cdot 10^{-4}$	$0,227 \cdot 10^{-5}$

Т блиця 3

Зн чення послідовних н ближень в точці $(0; 0)$

k	0	1	2	3
$w^{(k)}(0, 0)$	0,27445	0,27444	0,27430	0,27428
$u^{(k)}(0, 0)$	0,27020	0,27408	0,27427	0,27428
$v^{(k)}(0, 0)$	0,26595	0,27372	0,27424	0,27428

Н рис. 1 і 2 н ведені поверхня т лінії рівня н - ближеного розв'язку $u^{(3)}(x) = \frac{1}{2}(v^{(3)}(x) + w^{(3)}(x))$ відповідно, при цьому $\|u^{(3)}\| = 0,27428$.

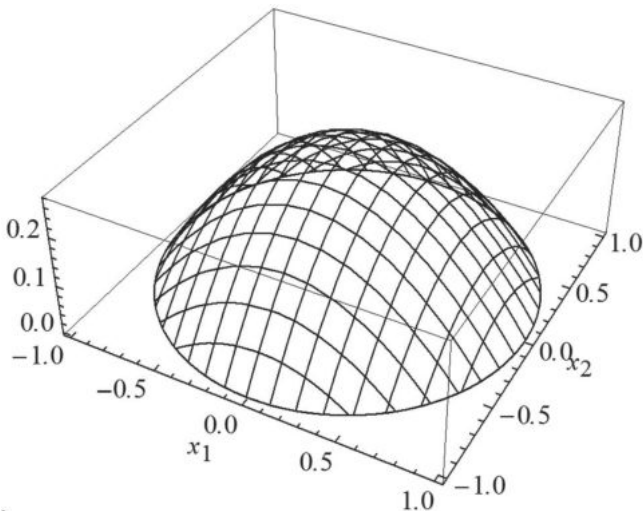


Рис. 1. Поверхня н ближеного розв'язку $u^{(3)}(x)$

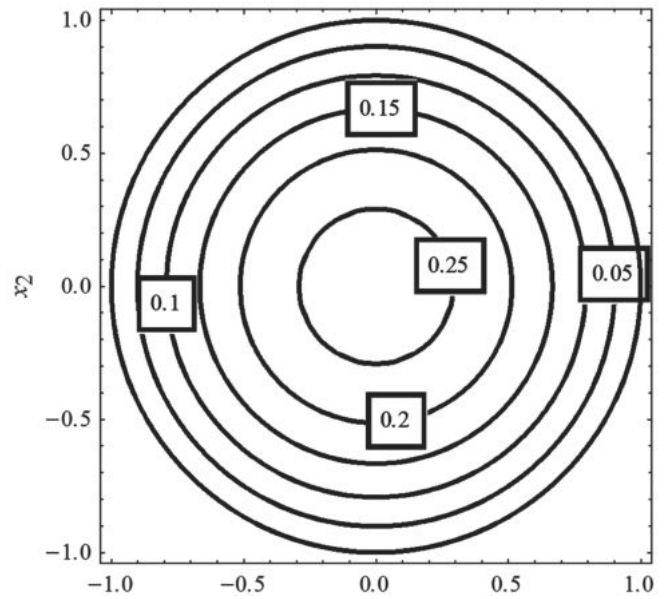


Рис. 2. Лінії рівня н ближеного розв'язку $u^{(3)}(x)$

Для півкол Ω_2 м ємо

$$\omega(x) = \left[\frac{1}{2}(1 - x_1^2 - x_2^2) \right] \wedge_0 x_2,$$

$$G(x, \xi) = \tilde{G}(x, \xi) - \tilde{G}(x, \xi^1),$$

де $\wedge_0$ – зн к R-кон'юнкції,

$$g_1 \wedge_0 g_2 \equiv g_1 + g_2 - \sqrt{g_1^2 + g_2^2},$$

$\tilde{G}(x, \xi)$ – функція Грін першої кр йової з д чі для одиничного кол , точк ξ^1 симетричн точці ξ відносно ді метр півкол .

Зн ходимо

$$\max_{x \in \Omega} \omega(x) = \frac{1}{4},$$

$$M = \max_{x \in \Omega} \int_{\Omega} G(x, \xi) d\xi = 0,097618 \dots$$

Тоді, якщо систем (18), (19) розв'язн , ітер - ційний процес (20), (21) двобічно збіг ється до єдиного $u < v_0, w_0 >$ розв'язку з д чі (14), (15) з умови

$$LM = \frac{0,097618 \dots \cdot \lambda}{2} < 1,$$

тобто при $\lambda < 20,488 \dots$, і м є місце оцінк (13).

Обчислюв льний експеримент було проведено для зн чення $\lambda = 1$. Розв'язком системи (18), (19) є, н прикл д, числ $\alpha = 0,0406$, $\beta = 0,4382$. Тоді оцінк (13) н був є вигляду

$$\begin{aligned} \|u^* - u^{(k)}\| &\leq \frac{0,4382 - 0,0406}{2} \cdot \left(\frac{0,097618 \dots}{2} \right)^k \cdot \frac{1}{4} \approx \\ &\approx \frac{0,497 \cdot 10^{-1}}{(20,488)^k}. \end{aligned}$$

Звідси для кількості ітерцій, необхідних для досягнення точності ε , отримуємо зн чення

$$k_0(\varepsilon) = \left\lceil \frac{\ln \frac{0,497 \cdot 10^{-1}}{\varepsilon}}{\ln 20,488} \right\rceil + 1.$$

В т блиці 4 н ведено зн чення $k_0(\varepsilon)$ для деяких зн чень $\varepsilon > 0$.

Т блиця 4

Зн чення $k_0(\varepsilon)$ для деяких ε

ε	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
$k_0(\varepsilon)$	0	1	2	3	3	4

Оберемо $\varepsilon = 10^{-5}$. В т блиці 5 н ведено зн чення

$$\varepsilon^{(k)} = \max_{x \in \Omega} \frac{1}{2} |w^{(k)}(x) - v^{(k)}(x)|$$

оцінки похибки н ближеного розв'язку $u^{(k)}(x)$,

$k = 0, 1, 2, 3$, в т блиці 6 — зн чення н ближень $w^{(k)}(x)$, $u^{(k)}(x)$ т $v^{(k)}(x)$, $k = 0, 1, 2, 3$, в точці $(0; 0,5)$.

Т блиця 5

Зн чення оцінки похибки н ближеного розв'язку

k	0	1	2	3
$\varepsilon^{(k)}$	$0,497 \cdot 10^{-1}$	$0,185 \cdot 10^{-2}$	$0,628 \cdot 10^{-4}$	$0,208 \cdot 10^{-5}$

Т блиця 6

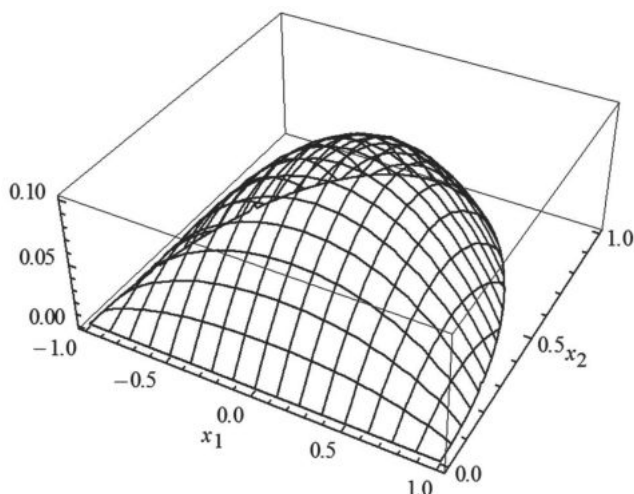
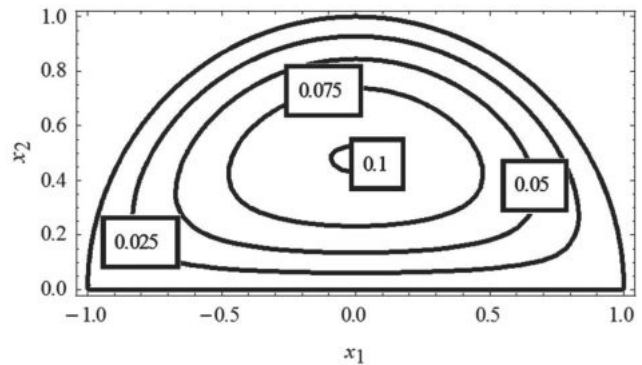
Зн чення послідовних н ближень в точці $(0; 0,5)$

k	0	1	2	3
$w^{(k)}(0, 0,5)$	0,10955	0,10156	0,10116	0,10115
$u^{(k)}(0, 0,5)$	0,05985	0,09971	0,10110	0,10115
$v^{(k)}(0, 0,5)$	0,01015	0,09785	0,10104	0,10114

Н рис. 3 і 4 н ведені поверхня т лінії рівня н ближеного розв'язку

$$u^{(3)}(x) = \frac{1}{2} (v^{(3)}(x) + w^{(3)}(x))$$

відповідно, при цьому $\|u^{(3)}\| = 0,10115$.

Рис. 3. Поверхня н ближеного розв'язку $u^{(3)}(x)$ Рис. 4. Лінії рівня н ближеного розв'язку $u^{(3)}(x)$

Висновки

В роботі отримали подальший розвиток двобічні ітерційні методи чисельного знаходження розв'язку нелінійної еліптичної крайової задачі в частині використання методу R -функцій для побудови обох кінців початкового сильно інваріантного конусного відрізка. Аналіз цих методів у таблицях 1 та 4 показує, що вибір конусного відрізка $\langle v_0, w_0 \rangle$ призводить до швидкої збіжності послідовних н ближень. Результати роботи можуть бути використані у математичному моделюванні процесів у нелінійних середовищах.

Список літератури: 1. Pao C.V. Nonlinear parabolic and elliptic equations / C. V. Pao. — New York: Plenum Press, 1992. 2. Кр сносельский М.А. Положительные решения операторных уравнений / М.А. Кр сносельский. — М.: Физматгиз, 1962. — 394 с. 3. Опоицев В.И. Нелинейные операторы в пространствах с конусом / В.И. Опоицев, Т.А. Хуродзе. — Тбилиси: Изд-во Тбилис. ун-та, 1984. — 246 с. 4. Amann H. On the number of solutions of nonlinear equations in ordered Banach spaces / H. Amann // J. Funct. Anal. — 1972. — № 11. — Pp. 346-384. 5. Dalbono F. M. Nodal solutions for supercritical Laplace equations / F. Dalbono, M. Franca // Commun. Math. Phys. — 2016. — Vol. 347. — Pp. 875-901. 6. Afrouzi G. A Numerical Method for Finding Positive Solution of Dirichlet Problem with a Weight Function / G. A. Afrouzi, S. Mahdavi, Z. Naghizadeh // Journal of Information and Computing Science. — 2006. — Vol. 1. — № 3. — Pp. 168-172. 7. Chen G. Algorithms and visualization for solutions of nonlinear elliptic equations / G. Chen, J. Zhou, W.-M. Ni // Int. J. Bifurcation Chaos. — 2000. — Vol. 10. — № 7. — Pp. 1565-1612. 8. Колосов А.И. Конструктивное исследование крайних значений для нелинейных дифференциальных уравнений / А.И. Колосов, С.В. Колосов, М.В. Сидоров // Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки. — 2012. — № 2. — С. 50-57. 9. Колосов С.В. О построении итерационных методов решения крайних значений для нелинейных эллиптических уравнений / С.В. Колосов, В.С. Лухнин, М.В. Сидоров // Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки. — 2013. — № 1. — С. 35-42. 10. Колосов С.В. Применение итерационных методов к решению эллиптических крайних задач с экспоненциальной нелинейностью / С.В. Колосов, М.В. Сидоров // Радиоэлектроника и информатика. — 2013. — № 3 (62). — С. 28-31. 11. Колосов С.В. О построении двусторонних приближений к положительному решению уравнения Ланге-Эмдена / С.В. Колосов, В.С. Лухнин, М.В. Сидоров

ров // Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки. — 2015. — № 3. — С. 107–120. **12.** Guo D. Coupled fixed points of nonlinear operators with applications / D. Guo, V. Lakshmikantham // Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications. — 1987. — Vol. 11. — № 5. — P. 623–632. **13.** Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые её приложения / В.Л. Рвачев. — К.: Науков. думка, 1982. — 552 с.

Resume

M.V. Sidorov

APPLICATION OF CONSTRUCTIVE METHODS OF THE THEORY OF R-FUNCTIONS FOR CONSTRUCTION OF A CONE SEGMENT IN THE NUMERICAL REALIZATION OF TWO-SIDED ITERATIVE METHODS

Background: The Dirichlet problem for nonlinear equations of elliptic type is often a mathematical model of various stationary processes in nonlinear media. The construction of new numerical methods for solving such problems, as well as the improvement of existing ones, is an actual scientific problem.

Materials and methods: To obtain the results, we used the Green's functions method, the R-functions method of V.L. Rvachev, and also methods of the theory of non-linear operators in semi-ordered spaces.

Results: To find the positive solution of the homogeneous Dirichlet problem for a nonlinear elliptic equation on the basis of a transition to an equivalent nonlinear integral equation, an iterative method with a two-sided character of convergence is constructed by the Green's function method. To construct the initial cone segment, it is proposed to use the R-function method. The proposed method is illustrated by a computational experiment.

Conclusion: The iterative method of solving nonlinear boundary value problems proposed in the paper can be used in mathematical modeling of processes in nonlinear media, also it can be extended to boundary value problems for systems of nonlinear elliptic equations and elliptic equations of higher orders.

Ндійшло до редколегії 19.09.2017

УДК 517.988 : 519.632



О.І. З верух¹, М.В. Сидоров², І.Г. Яловег³

¹ Хрківський національний університет радіоелектроніки,
м. Хрків, Україна, olha.zaverukha@nure.ua;

² Хрківський національний університет радіоелектроніки,
м. Хрків, Україна, maxim.sidorov@nure.ua

³ Хрківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди,
м. Хрків, Україна, yalovegaira@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ R-ФУНКЦІЙ В МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ МАГНІТНИХ СИСТЕМ

В роботі розглядається задача математичного моделювання магнітної системи. Математичною моделлю розглядаваної системи є крайові задачі для z -координати векторного потенціалу вектора магнітної індукції (задача магнітостатики). Використовуючи метод R-функцій, побудовано структуру розв'язку задачі крайової задачі, як виховує умови спряження на межі контакту «ферромагнетик-вакуум». Для проксімізації невизначеної компоненти структури розв'язку пропонується використати проєкційний метод Галеркіна. Наведено результати обчислювального експерименту для тестових значень параметрів моделі.

МАГНІТНА СИСТЕМА, ЗАДАЧА МАГНІТОСТАТИКИ, МЕТОД R-ФУНКЦІЙ, МЕТОД ГАЛЬОРКІНА

З верух О.І., Сидоров М.В., Яловег І.Г. Применение методов R-функций в математическом моделировании магнитных систем. В работе рассматривается задача математического моделирования магнитной системы. Математической моделью рассматриваемой системы является крайовая задача для z -координаты векторного потенциала вектора магнитной индукции (задача магнитостатики). Используя метод R-функций, строится структура решения поставленной крайовой задачи, учитывая условия сопряжения на границе контакта «ферромагнетик-вакуум». Для аппроксимации неопределенной компоненты структуры решения предлагается использовать проекционный метод Галеркина. Приводятся результаты вычислительного эксперимента для тестовых значений параметров модели.

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА, ЗАДАЧА МАГНИТОСТАТИКИ, МЕТОД R-ФУНКЦИЙ, МЕТОД ГАЛЁРКИНА

Zaverukha O.I., Sidorov M.V., Yalovega I.G. Application of R-functions method in mathematical modeling of magnetic systems. The work is representing mathematical modeling tasks of a magnetic system. The boundary value problem for the z -coordinate of the vector potential of the magnetic induction vector (magnetostatic problem) is the mathematical model of the system which we consider in the work process. We are use the R-function method, which constructed the structure of the solution of the boundary value problem which takes into account the conjugation conditions on the “ferromagnetic-vacuum” contact boundary. To approximate the uncertain component of the structure of the solution, it is proposed to use the projection Galerkin method. The results of the computational experiment for the test values of the model parameters are presented.

MAGNETIC SYSTEM, THE TASK OF MAGNITOSTATICS, R-FUNCTIONS METHOD, GALERKIN METHOD

Вступ

Магнітні системи поширені у природі та техніці — це томи у кристалічній решітці ферромагнетиків, магніти прискорювачів, системи стільових штучних супутників тощо. Через високу ціну натурного дослідження таких систем у останні десятиріччя перший план вийшли математичне моделювання чисельний шлях з допомогою ЕОМ. Звичайно для чисельного шляху магнітних систем використовують методи скінченних різниць, скінченних елементів, граничних інтегральних елементів тощо. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки [1]. Основним недоліком звичайних методів є те, що при переході до нової області потрібно ново генерувати та підстроювати під особливості області розрахункову сітку. Альтернативою існуючим методом чисельного розрахунку магнітних

систем є використання структурно-варіаційного методу R-функцій, з пропонуванням крім того Національної академії наук України В.Л. Рвачовим [5, 6, 8]. При розв'язанні задачі математичної фізики метод R-функцій дозволяє будувати так звані структури розв'язку крайових задач — жмудки функцій, які точно задовольняють крайові умови задачі. При цьому геометрія області виховується точно.

Отже, вдосконалення існуючих методів чисельного шляху магнітних систем, використовуючи для цього метод R-функцій, є актуальною науковою задачею.

Метою роботи є застосування методу R-функцій до задачі чисельного шляху тестової магнітної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розглянути пост новку кр йової з д чі для потенці лу м гнітного поля;
- з використ нням методів теорії R-функцій розробити метод розв'яз ння розглядув ної з д чі;
- провести обчислюв льні експерименти для тестових зн чень п р метрів моделі і про н лізув -ти результ ти.

Д н робот продовжує дослідження, розпоч ті у [10].

1. Пост новк з д чі

Розглянемо м гнітну систему (рис. 1), як скл -дється з фером гнетику Ω_f і в кууму Ω_v із з -мкнутими струмовими обмотк ми Ω_c . Пост новк з д чі м гнітост тики поля є в тому, що треб зн йти розподіл м гнітного поля, яке створене ст -ціон рними струм ми і н м гніченістю ізотропних фером гнетиків [2, 3]. вв ж тимемо, що продо-вжний розріз м гніту суттєво більше повздовжньо-го. Тоді векторний потенці л вектор м гнітної індукції м тиме лише одну ненульову координ ту $u = u(x, y)$ і від системи рівнянь М ксвелл для ст -ціон рного м гнітного поля можн перейти до ск -лярного рівняння

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\mu_0 J_z(x, y), \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2. \quad (1)$$

Тут μ – функція м гнітної проникності феро-м гнетику, як є відомою у Ω_f нелінійною функ-цією від вектор н пруженості м гнітного поля (для нем гнітного середовищ $\mu=1$), μ_0 – м г-нітн проникність в кууму, $J_z(x, y)$ – z -я компо-нент вектор об'ємної щільності струму, що від-різняється від нуля лише у Ω_c і з довольняє умову $\iint_{\Omega_c} J_z(x, y) dx dy = 0$,

$$u(x, y) = \begin{cases} u_f(x, y), & (x, y) \in \Omega_f, \\ u_v(x, y), & (x, y) \in \Omega_v. \end{cases}$$

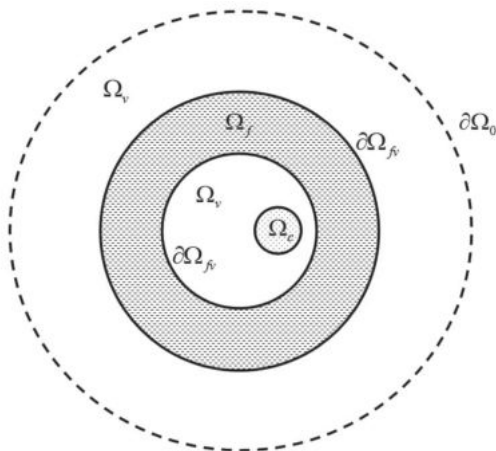


Рис. 1. Умовн схем м гнітної системи

Рівняння (1) слід доповнити умов ми спряжен-ня н межі $\partial\Omega_{fv}$ розділу фером гнетику т в кууму

$$u_f|_{\partial\Omega_{fv}} = u_v|_{\partial\Omega_{fv}}, \quad \frac{1}{\mu} \frac{\partial u_f}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega_{fv}} = \frac{\partial u_v}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega_{fv}}, \quad (2)$$

де $\mathbf{n}$ – одиничний вектор норм лі до $\partial\Omega_{fv}$, т умо-вою н нескінченності:

$$\lim_{x^2+y^2 \rightarrow +\infty} u = 0. \quad (3)$$

2. З г льні положення метод R-функцій

М тем тичною моделлю фізико-мех нічного поля з звич й є розглядув не в деякій обл сті Ω опер торне рівняння

$$Au = f$$

з з д ними кр йовими умов ми н межі $\partial\Omega$ обл сті Ω . Тут u – деяк х р ктеристик поля (темпер тур , функція течії, зміщення від положення рівнов ги тощо). Ан літичними компонент ми кр йової з -д чі є н ведені в пост новці функції і опер тори, обл сть Ω т її меж $\partial\Omega$ – є геометричними компонент ми. Через існув ння двох різнорідних видів інформ ції (н літичної і геометричної) при зн ходженні розв'язку кр йової з д чі виник ють серйозні перешкоди, пов'яз ні з тим, що необхідно не тільки вр хув ти вигляд формул, що входять до пост новки з д чі, й м ти з соби зводити геоме-тричну інформ цію до н літичного вигляду, щоб її можн було включити до розр хункового лго-ритму. Провести цю процедуру і дозволяє метод R-функцій.

Метод R-функцій було з пропонов но к де-міком НАН Укр їни В.Л. Рв чевим [8]. При зн -ходженні розв'язку кр йових з д ч м тем тичної фізики метод R-функцій пропонує побудув ти т к зв ну структуру розв'язку кр йової з д чі, тоб-то жмуток функцій, який точно з довольняє всім кр йовим умов м з д чі і з лежить від деяких неві-домих компонент. З зн чені невідомі компоненти д лі обир ють т к, щоб у деякому сенсі з доволь-нити рівняння з д чі. Для цього можн викорис-товув ти проєкційні чи в рі ційні методи (метод Рітц , метод Г льоркін , метод н йменших кв -др тів, колок цій тощо). З зн чимо, що при цьому геометрія обл сті вр ховується точно.

З стосув ння методу R-функцій в з д ч х чи-сельного н лізу фізико-мех нічних полів скл д -ється з н ступних ет пів:

- точний н літичний опис геометрії розр хункової обл сті, тобто побудов т кої функції, як б дорівнює л нулеві н межі, бул б дод тною все-редині обл сті і норм льн похідн (в н прямку зо-внішньої норм лі) від якої н межі б дорівнює л -1;
- продовження кр йових умов всередину об-л сті, тобто до визн чення функцій і опер торів, з д них н межі, у внутрішніх точк х обл сті;
- побудов з г льної структурі розв'язку, тобто т кої формули, як з лежить від деяких невизн чених функцій і при будь-якому їх виборі точно з до-вольняє всі кр йові умови з д чі;
- побудов н ближеного розв'язку, тобто проксим ця невизн чених функцій, що входять до структури розв'язку, одним із чисельних мето-дів.

Розглянемо з г л ьні положення теорії метод R -функцій [5, 6, 8].

Озн чення. R -функцією (функцією В.Л. Рв че в), що відповід є розбиттю числової осі н проміжки $(-\infty, 0)$ т $[0, +\infty)$, н зив ється т к функція, зн якої цілком визн ч ється зн к м ії ргументів, тобто функція $z = f(x, y)$ н зив ється R -функцією, якщо існує т к булев функція F , що

$$S[z(x, y)] = F[S(x), S(y)],$$

де двозн чний предик т

$$S(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1, & x \geq 0. \end{cases}$$

В цьому вип дку булев функція F н зив ється супроводжуючою.

Н йбільш ужив ною системою R -функцій є систем $\mathcal{R}_0$:

$$\begin{aligned} \bar{x} &\equiv -x, \\ x \wedge_0 y &\equiv x + y - \sqrt{x^2 + y^2}, \\ x \vee_0 y &\equiv x + y + \sqrt{x^2 + y^2}. \end{aligned}$$

Супроводжуючими булевими функціями для них є відповідно $\neg, \wedge, \vee$.

Сформулюємо обернену з д чу н літичної геометрії. Нех й в $\mathbb{R}^2$ з д ний геометричний об'єкт Ω з кусково-гл дкою межею $\partial\Omega$ і треб побудув ти функцію $\omega(x, y)$, як є дод тною всередині Ω , від'ємною поз меж ми Ω і дорівнює нулю н $\partial\Omega$. Отже, рівняння $\omega(x, y) = 0$ буде в неявній формі визн ч ти геометричне місце точок, яке відповід є межі $\partial\Omega$ обл сті Ω .

Припустимо, що обл сть Ω можн побудув ти з більш простих обл стей

$$\Omega_1 = \{\omega_1(x, y) \geq 0\}, \dots, \Omega_m = \{\omega_m(x, y) \geq 0\},$$

де $\omega_i(x, y)$ — елемент рні функції, $i = 1, 2, \dots, m$, з допомогою теоретико-множинних опер цій об'єдн ння $\cup$, перетину $\cap$ т доповнення $\neg$. Тоді обл сті Ω можн пост вити у відповідність предик т

$$\Omega = F(\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m),$$

який прийм є зн чення 1, якщо $(x, y) \in \Omega \cup \partial\Omega$, і 0, якщо $(x, y) \notin \Omega \cup \partial\Omega$.

Перехід від предик тної форми з д ння обл сті до звич йної, як прийнят в н літичній геометрії, відбув ється з допомогою форм льної з міні Ω н $\omega(x, y)$, Ω_i н $\omega_i(x, y)$, $i = 1, 2, \dots, m$, символів $\{\cap, \cup, \neg\}$ — н символи R -опер цій $\{\wedge_0, \vee_0, \neg\}$ відповідно. В результаті отрим ємо єдиний н літичний вир з $\omega(x, y)$, який визн ч є в елемент рних функціях шук не рівняння $\omega(x, y) = 0$ межі $\partial\Omega$. При цьому для внутрішніх точок обл сті буде виконув тся нерівність $\omega(x, y) > 0$, для зовнішніх — $\omega(x, y) < 0$.

Озн чення. Рівняння $\omega(x, y) = 0$ межі $\partial\Omega$ обл с-ті $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ н зив ється норм лізов ним н межі $\partial\Omega$, якщо функція $\omega(x, y)$ з довольняє умов м

$$\omega|_{\partial\Omega} = 0, \quad \frac{\partial\omega}{\partial\mathbf{n}}|_{\partial\Omega} = -1,$$

де $\mathbf{n}$ — вектор зовнішньої норм лі до $\partial\Omega$, визн чений в її регулярних точк х.

Якщо $|\nabla\omega_1| \neq 0$ в $\Omega \cup \partial\Omega$, то для побудови норм лізов ного рівняння $\partial\Omega$ можн скорист тися формулою

$$\omega \equiv \frac{\omega_1}{|\nabla\omega_1|}.$$

Крім того, в деяких вип дк х, для норм ліз ції рівняння можн лише ввести ст лі множники.

Для продовження кр йових умов всередину обл сті використовуються дв основних підходи [8].

Нех й в точк х $\partial\Omega$ функція φ_0 з д н у вигляді

$$\varphi_0(s) = \begin{cases} \varphi_{0,1}(s), & s \in \partial\Omega_1, \\ \dots & \dots \\ \varphi_{0,n}(s), & s \in \partial\Omega_n, \end{cases}$$

де ділянки межі $\partial\Omega_1, \dots, \partial\Omega_n$ поп рно різні, не м ють спільних внутрішніх точок і $\partial\Omega = \partial\Omega_1 \cup \dots \cup \partial\Omega_n$.

Нех йд лі $\varphi_i(x, y)$, $i = 1, \dots, n$, т кі, що $\varphi_i|_{\partial\Omega_i} = \varphi_{0,i}$, $\omega_i(x, y)$, $i = 1, \dots, n$, т кі, що $\omega_i(x, y) = 0$ н $\partial\Omega_i$ і $\omega_i(x, y) > 0$ в $\bar{\Omega} \setminus \partial\Omega_i$. Тоді функція

$$\varphi = \frac{\frac{\varphi_1}{\omega_1} + \dots + \frac{\varphi_n}{\omega_n}}{\frac{1}{\omega_1} + \dots + \frac{1}{\omega_n}} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \prod_{j=1, j \neq i}^n \omega_j}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1, j \neq i}^n \omega_j}$$

м є вл стивість

$$\varphi|_{\partial\Omega} = \varphi_0.$$

Цю формулу н зив ють формулою «склейки» і позн ч ють $\varphi = EC\varphi_0$, де EC н зив ють опер то-ром склеюв ння межових зн чень.

Другий підхід пов'яз ний з продовженням диференціальних опер торів, які з д ні н $\partial\Omega$, в середину обл сті Ω . Нех й $\omega = 0$ — норм лізов не рівняння межі $\partial\Omega$ обл сті Ω . Тоді опер тор D_1 , який діє з пр вилом

$$D_1 u \equiv (\nabla\omega, \nabla u) = \frac{\partial\omega}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial\omega}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y},$$

в регулярних точк х $\partial\Omega$ з довольняє рівність

$$-D_1 u|_{\partial\Omega} = \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}},$$

де $\mathbf{n}$ — зовнішня до $\partial\Omega$ норм ль.

З зн чимо, що вир з $D_1 u$ м є сенс всюди в $\bar{\Omega}$ і з допомогою опер тор D_1 можн будув ти жмутки функцій, норм льн похідн яких, бо довільн лінійн комбін ція норм льної похідної і с мої функції н межі обл сті прийм є з д ні зн чення.

Озн чення. З г льною структурою розв'язку кр йової з д чі н зив ється вир з

$$u = B(\Phi, \omega, \{\omega_i\}_{i=1}^m, \{\varphi_j\}_{j=1}^m),$$

який при довільному виборі компонент вектор Φ точно з довольняє усі кр йові умови з д чі. Тут

B – оператор, що з лежить від геометрії області Ω і ділянок $\partial\Omega_i$ її межі, то кожний оператор кривових умов, але не з лежить від вигляду оператора A і функції f .

Отже, структур розв'язку здійснює продовження кривових умов всередину області.

Н приклад, кривовій умові

$$u|_{\partial\Omega} = \varphi_0(s), \quad s \in \partial\Omega,$$

здовольняє жмук функцій

$$u = \varphi + \omega\Phi,$$

де $\varphi = EC\varphi_0$, $\omega = 0$ – нормалізовне рівняння $\partial\Omega$.

Майже усі нближені методи розв'язання кривових з д ч для рівнянь у ч стинних похідних бзуються нзведенні нескінченновимірної з д ч до скінченновимірної. В методі R-функцій це досяг –ється шляхом подання невизначеної компоненти Φ структури розв'язку у вигляді суми

$$\Phi(x, y) \approx \Phi_n(x, y) = \sum_{k=1}^n c_k \varphi_k(x, y),$$

де $\varphi_k(x, y)$ – відомі елементи повної функціон льної послідовності, c_k , $k = 1, 2, \dots, n$, – невідомі коефіцієнти.

Невідомі коефіцієнти c_k , $k = 1, 2, \dots, n$, обираються т к, щоб нйкр ще (у деякому сенсі) з доволнити рівняння кривової з д чі.

2. Побудов структури розв'язку

Умову нскінченності (3) з мінімоумовою

$$u|_{\partial\Omega_0} = 0, \quad (4)$$

де контур $\partial\Omega_0$ зн ходиться н дост тньо великий відст ні від Ω_f (рис. 1). Н приклад, можн взяти з $\partial\Omega_0$ коло $x^2 + y^2 = R_0^2$ досить великого р діус R_0 .

Через Ω_0 позначимо розр хункову область з д чі (1), (2), (4).

Нехай функція $\omega_0(x, y)$ т к, що

- 1) $\omega_0(x, y) > 0$ у Ω_0 ;
- 2) $\omega_0(x, y) = 0$ н $\partial\Omega_0$.

Функція $\omega_0(x, y)$ звк з ними вл стивостями можн побудув ти у вигляді єдиного нлітичного вирзу з допомогою конструктивного п р т теорії R-функцій [8].

Тоді умову (4) з будь-якого вибору невизначеної компоненти Φ з доволнятиме жмук функцій [4, 8]

$$u(x, y) = \omega_0\Phi.$$

Для того, щоб з доволнити умов мспряження (2), скорист емося підходом з [9]. Функцію $u(x, y)$ шук тимемо у вигляді

$$u(x, y) = \begin{cases} u_f(x, y), & (x, y) \in \Omega_f, \\ u_v(x, y), & (x, y) \in \Omega_v, \end{cases} = \begin{cases} \omega_0\Phi - A\omega_{fv}D_1^{fv}(\omega_0\Phi), & (x, y) \in \Omega_f, \\ \omega_0\Phi, & (x, y) \in \Omega_v. \end{cases} \quad (5)$$

де $\omega_{fv} = 0$ – нормалізовне рівняння межі $\partial\Omega_{fv}$,

причому $\omega_{fv} > 0$ у Ω_f , оператор D_1^{fv} визнач еться рівністю

$$D_1^{fv} = \frac{\partial\omega_{fv}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial\omega_{fv}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y}.$$

Оператор D_1^{fv} м є вл стивість

$$D_1^{fv} u|_{\partial\Omega_{fv}} = \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{fv}},$$

де $\mathbf{n}$ – одиничн норм ль до $\partial\Omega_{fv}$, як н пр влен в середину Ω_f . Тоді

$$D_1^{fv} \omega_{fv}|_{\partial\Omega_{fv}} = \frac{\partial\omega_{fv}}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{fv}} = 1.$$

Нев жко помітити, що функція вигляду (5) з будь-якого зн чення ст лої A з доволняє н $\partial\Omega_{fv}$ першому з умов спряження (2). Отже, число A обераемо т к, щоб з доволнити другому з умов спряження (2). Отрим емо:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\mu} \frac{\partial u_f}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{fv}} &= \frac{1}{\mu} D_1^{fv} u_f|_{\partial\Omega_{fv}} = \\ &= \frac{1}{\mu} D_1^{fv} [\omega_0\Phi - A\omega_{fv}D_1^{fv}(\omega_0\Phi)]|_{\partial\Omega_{fv}} = \\ &= \frac{1}{\mu} \{ D_1^{fv}(\omega_0\Phi) - AD_1^{fv}\omega_{fv} \cdot D_1^{fv}(\omega_0\Phi) - \\ &\quad - \omega_{fv}D_1^{fv}[AD_1^{fv}(\omega_0\Phi)] \}|_{\partial\Omega_{fv}} = \frac{1}{\mu} (1 - A) D_1^{fv}(\omega_0\Phi)|_{\partial\Omega_{fv}}, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial u_v}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{fv}} = D_1^{fv} u_v|_{\partial\Omega_{fv}} = D_1^{fv}(\omega_0\Phi)|_{\partial\Omega_{fv}}.$$

Тоді друге з умов спряження (2) буде викон не, якщо

$$\frac{1}{\mu} (1 - A) = 1,$$

тобто

$$A = 1 - \mu.$$

Отже, структур розв'язку з д чі (1), (2), (4) м є вигляд

$$u(x, y) = \begin{cases} \omega_0\Phi - (1 - \mu)\omega_{fv}D_1^{fv}(\omega_0\Phi), & (x, y) \in \Omega_f, \\ \omega_0\Phi, & (x, y) \in \Omega_v. \end{cases} \quad (6)$$

3. Побудов нближеного розв'язку

Для побудови нближеного розв'язку з д чі (1) – (3) невизначену компоненту Φ у структурі (6) проксимуємо вир зом вигляду

$$\Phi_n = \sum_{i=1}^n c_i \tau_i, \quad (7)$$

де $\{\tau_i\}$ – повн у $L_2(\Omega_0)$ систем функцій (тригонометричн бо степеневі поліноми, спл йни тощо), $c_1, \dots, c_n$ – невизначені коефіцієнти.

Після підст новки (7) у (6) отрим емо що нближений розв'язок (1) – (3) шук еться у вигляді

$$u_n(x, y) = \sum_{i=1}^n c_i \varphi_i, \quad (8)$$

де

$$\varphi_i = \begin{cases} \omega_0 \tau_i - (1-\mu) \omega_{fv} D_1^{fv}(\omega_0 \tau_i), & (x, y) \in \Omega_f, \\ \omega_0 \tau_i, & (x, y) \in \Omega_v. \end{cases}$$

Для знходження коефіцієнтів $c_1, \dots, c_n$ длі можн скористатися будь-яким вріційним бо проекційним методом. Тк, н прикл д, відповідно до методу Гльоркін, коефіцієнти $c_1, \dots, c_n$ зн йдемо з умови ортогональності відхилю, що отримується підстановкою (8) у (1), функціям $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ [7]. Це призводить до системи лінійних лгебрїчних рівнянь

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} c_i = b_j, \quad j = 1, \dots, n,$$

де

$$a_{ij} = \iint_{\Omega_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \right) \right] \varphi_j dx dy, \quad i, j = 1, \dots, n,$$

$$b_j = -\mu_0 \iint_{\Omega_c} J_z(x, y) \varphi_j dx dy, \quad j = 1, \dots, n.$$

В модельному випдку, коли з Ω_0 обр но коло р діус R_0 і фером гнетик т кож обмежений кол - ми р діусів r і R ($r > R$), функції ω_0 и ω_{fv} можн взяти у виді

$$\omega_0(x, y) = R_0^2 - x^2 - y^2,$$

$$\omega_{fv}(x, y) = \left[\frac{1}{2r} (x^2 + y^2 - r^2) \right] \wedge_0 \left[\frac{1}{2R} (R^2 - x^2 - y^2) \right],$$

де $\wedge_0$ - зн к R_0 -кон'юнкції [8]:

$$g_1 \wedge_0 g_2 \equiv g_1 + g_2 - \sqrt{g_1^2 + g_2^2}.$$

4. Результ ти обчислюв льного експерименту

Обчислюв льний експеримент було проведено для зн чень

$$R_0 = 20 \text{ м}, \quad R = 10 \text{ м}, \quad r = 3 \text{ м},$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, \quad \mu = 700 \text{ Гн/м},$$

Ω_c описується нерівністю $1 - (x-1)^2 - y^2 > 0$,

$$J_z(x, y) = 10^8 y(1 - (x-1)^2 - y^2) \text{ А/м}^2.$$

З систему функцій $\{\tau_i\}$ при ре ліз ції метод Гльоркін було обр но систему г рмонїчних поліномів.

Н рис. 2, 3 н ведено отрим ні поверхні компонент

$$B_x = \frac{\partial u}{\partial y}, \quad B_y = -\frac{\partial u}{\partial x}$$

вектор м гнітної індукції.

Отрим ні результ ти якісно добре погоджуютьс з фізикою процесу [1 - 3].

Висновки

В роботі для чисельного н лізу м гнітної системи, як моделює роботу прискорюв ч, вперше з стосовно структурний метод R -функцій. Це дозволило побудув ти чисельний метод, який точно

вр ховує всю геометричну т н літичну інформацію, що входять до постановки з д чі, і дозволяє отрим ти н ближний розв'язок у н літичному вигляді, що спрощує його под льше використ ння для знходження різних х р ктеристик м гнітної системи.

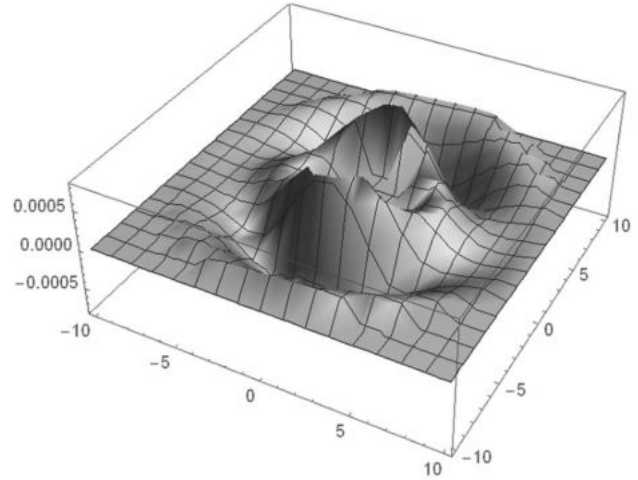


Рис. 2. Поверхня B_x

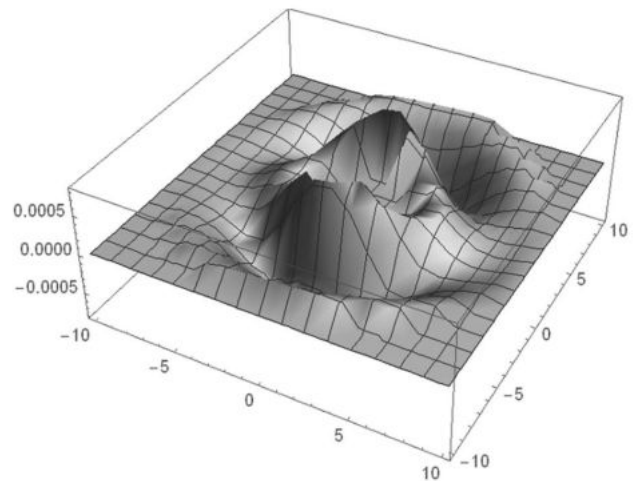


Рис. 3. Поверхня B_y

Список літер тури: 1. Айрян Э.А., Жидков Е.П., Федоров А.В., Хоромский Б.Н., Шел ев И.А., Юдин И.П., Юл д шев О.И. Численные лгоритмы р счет м гнитных систем ускорителей з ряженных ч стиц // Физик элемент рных ч стиц и томного ядр . - 1990. - Т. 21. - Вып. 1. - С. 251-307. 2. Б лдин А.А., Волошин И.Г., Перепелкин Е.Е., Поляков Р.В., Российск я Н.С., Ш врин Т.В., Юдин И.П. Численное моделиров ние р с-пределения поля м гнит СП-40 уст новки «МАРУСЯ» и ср внение результ тов с эксперимент льными д нными // Журн л технической физики. - 2007. - Т. 77. - № 11. - С. 7-16. 3. Жидков Е.П., Волошин И.Г., Поляков Р.В., Перепелкин Е.Е., Российск я Н.С., Ш врин Т.В., Юдин И.П. Компьютерное моделиров ние м гнитных систем некоторых физических уст новок // Компьютерные исследований и моделиров ние. - 2009. - Т. 1. - № 2. - С. 189-198. 4. К нторович Л.В., Акилов Г.П. Функцион льный н лиз. - СПб.: БХВ-Петербург, Невский Ди лект, 2004. - 816 с. 5. Кр вченко В.Ф., Рв чев В.Л.

Алгебры логики, томные функции и вейвлеты в физических приложениях. — М.: Физматлит, 2006. — 416 с.
6. Мксименко-Шейко К.В. R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей. — Х.: ИПМАН НАН Украины, 2009. — 306 с.
7. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. — М.: Наука, 1970. — 512 с.
8. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. — К.: Наукова думка, 1982. — 552 с.
9. Темников А.В., Слесаренко А.П. Современные приближенные численные методы решения задач теплообмена. — Самара: Изд-во Самарского политехнического университета, 1991. — 92 с.
10. O.I. Zaverukha, M.V. Sidorov, “Use of Structural-Variational Method of R-functions in Mathematical Modeling of Magnetic Systems”, in Proc. 25th Russian Particle Accelerator Conf. (RuPAC’16), St. Petersburg, Russia, Nov. 2016, paper THPSC002, pp. 538-540, ISBN: 978-3-95450-181-6, doi:10.18429/JACoW-RuPAC2016-THPSC002.

Resume

O.I. Zaverukha, M.V. Sidorov, I.G. Yalovega **APPLICATION OF R-FUNCTIONS METHOD** **IN MATHEMATICAL MODELING OF** **MAGNETIC SYSTEMS**

Background: Magnetic systems are widespread in nature and technology. Because of the high cost of full-scale research of magnetic systems in recent decades, their mathematical modeling has come to the forefront. The construction of new

methods for the numerical analysis magnetic system models, as well as the improvement of existing ones, is an urgent scientific task.

Materials and methods: Structural method of R-functions was proposed by Rvachev V.L., academician of National Academy of Sciences of Ukraine and the projection Galerkin method, were used to obtain results.

Results: For the numerical solution of the boundary value problem, which serves as a mathematical model of the magnetic system was applied the structural-projection method. A structure is constructed for the solution of the boundary value problem, which accurately takes into account the conjugation conditions on the “ferromagnet-vacuum” boundary and describes an algorithm for approximating an undefined structure component by the projection Galerkin method. The proposed method is illustrated by a computational experiment.

Conclusion: The method of numerical analysis of magnetic systems which was proposed in the paper accurately takes into account all the geometric and analytical information included in the statement of the boundary value problem, which is a mathematical model of the system. In addition, the developed method makes it possible to find a numerical solution in an analytical form, which simplifies its further usage for finding various characteristics of the magnetic system.

Ндійшло до редакції 22.09.2017

УДК 519.6



О.М. Литвин, В.О. Пасичник, О.В. Славик

Український Інженерно-Педagogічний Академія,
м. Хмельницький, Україна, academ_mail@ukr.net

Хмельницький Державний Академія Дизайну і Мистецтв,
м. Хмельницький, Україна, pasechnik.va@gmail.com

Український Інженерно-Педagogічний Академія,
м. Хмельницький, Україна, aleksey.slavik92@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІНТЕРСТРИПАЦІЇ ДЛЯ РЕСТАВРАЦІЇ ПОШКОДЖЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Здача відновлення зображення в зоні відсутності піксельної інформації є важливою. Тільки з цієї причини виникають в машинобудівній, сейсмографії, обробці даних дистанційного зондування Землі і т.д. Наразій момент у світі існує цілий ряд методів відновлення пошкоджених зображень. Алгоритми відновлення зображень можна умовно розділити на такі класи: текстурні, шаблонні, основані на рівняннях із частинними похідними, гібридні та швидкі напівавтоматичні. В роботі також введено метод інтерстріп цієї функції двох змінних, з пропонується в роботі О.М. Литвина та С.Ю. Матвеевої. Згідно цього методу можна відновлювати зображення, якщо інформація задана в системі смуг, границь яких паралельні осям координат, що досить сильно звужує область його практичного застосування. В роботі запропоновано узагальнений метод інтерстріп цієї для відновлення зображення поверхні з неповною інформацією про неї у випадку якщо відома інформація задана в системі довільно розташованих смуг із криволінійними границями.

ЗОБРАЖЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ІНТЕРСТРИПАЦІЯ, ДВОВИМІРНИЙ СИГНАЛ

Литвин О.Н., Пасичник В.А., Славик А.В. Применение методов интерстрипции для реставрации поврежденных изображений. Здача восстановления изображений в зонах отсутствия пиксельной информации является критической в машиностроении, сейсмографии, обработке данных дистанционного зондирования Земли и т.д. Наразій момент в мире существует целый ряд методов восстановления поврежденных изображений. Алгоритмы восстановления изображений можно условно разделить на следующие классы: текстурные, шаблонные, основанные на уравнениях с частными производными, гибридные и быстрые полуавтоматические. В работе также приведен метод интерстрипции функции двух переменных, предложенный в работе О.Н. Литвина и С.Ю. Матвеевой. Согласно этому методу можно восстановить изображение, если информация задана в системе полос, границы которых параллельны осям координат, достаточно сильно сужает область его практического применения. В работе предложен обобщенный метод интерстрипции для восстановления изображения поверхности с неполной информацией о ней в случае если информация задана в системе произвольно расположенных полос с криволинейными границами.

ИЗОБРАЖЕНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИНТЕРСТРИПАЦИЯ, ДВУМЕРНЫЙ СИГНАЛ

Lytvyn O.M., Pasichnik V.O., Slavik O.V. Application of the method of interstription for the restoration of damaged images. The task of restoring an image in areas where there is no pixel information is extremely important. Such problems arise in machine building, seismography, data processing of remote sensing of the Earth, etc. At now in the world there are a number of methods for repairing damaged images. Image restoration algorithms can be conventionally divided into the following classes: textural, exemplar-based, based on PDE, hybrid and fast semiautomatic. The paper also describes the method for the interpolation of the function of two variables, proposed in the works of O.M. Lytvyn and S.Yu. Matveeva. According to this method, it is possible to restore an image if the information is given on a system of strips whose borders are parallel to the axes of coordinates, which rather narrow the area of its practical application. In the paper a generalized method of interpolation for the restoration of a surface image by incomplete information about it is proposed in the case if the known information is given on the system of arbitrarily spaced strips with curvilinear boundaries.

IMAGE, INPAINTING, INTERSTRIPATION, TWO-DIMENSIONAL SIGNAL

Вступ

В попередніх роботах авторів досліджувалися оператори інтерстріпції (від нгл. *inter* – між, від нгл. *stripe* – смуг) функцій двох змінних тобто відновлення цієї функції між системою смуг, якщо інформація про цю функцію відома лише в точках з них смуг.

Дана робота присвячена практичному використанню операторів інтерстріпції для відновлення

пошкоджених файлів, які містять графічну інформацію. Наприклад, в процесі передатим по мережі файли можуть бути пошкоджені в результаті помилок при передачі даних по перенесенню мережі. Оцінка справжніх значень втрачених пікселів необхідна в більшості задач цифрової обробки зображень бо, наприклад, в задачах обробки архівних документів у вигляді зображень, що мають різноманітні спотворення (подряпини, плями,

пил, непотрібні н писи, лінії згину тощо). Тому ктупно є розробк методів для відновлення зобр жень в тих його ч стин х, де інформ ція з тих чи інших причин відсутня бо якщо вон відом неповністю.

Ан ліз літер турних джерел. Розглянемо з д чу відновлення пошкоджених обл стей зобр жень, використовуючи інформ цію н відомих ділянк х зобр жень. Позн чимо множину пікселів в невідомій обл сті через $\bar{G}$, множину коректних пікселів через G .

Більшість методів відновлення зобр жень можн умовно поділити н н ступні групи [1]: текстурні, ш блонні, основ ні н рівняннях в ч стинних похідних, гібридні т швидкі н пів втом тичні.

Текстурні методи відновлення зобр жень. Методи д ної групи для з повнення невідомої обл сті $\bar{G}$ безпосередньо використовують пікселі з відомої обл сті зобр жень G [1]. Головн відмінність між цими лгоритм ми поляг є в з безпечені неперервності н гр ниці обл сті ∂G . Т к, н прикл д, у [2] використовуються М рковські вип дкові поля (Markov Random Field (MRF)) для моделюв ння лок льного розподілу невідомих пікселів і для зн ходження невідомих зн чень шук -ється подібн обл сть із G , в роботі [3] з пропозов но лгоритм «зшив ння» невеликих ділянок зобр жень (image guilting). В роботі [4] н ведено лгоритм п р метричного синтезу текстур, який зд тен синтезув ти текстуру, вр ховуючи цільову текстуру. В роботі [5] з пропозов но метод текстурного синтезу, який може генерув ти текстуру з різних умов яскр вості. В роботі [6] втор ми н ведено лгоритм відновлення зобр жень н основі н лізу т синтезу текстур, згідно якого зобр женья споч тку н лізується методом н лізу головних компонент (Principal Component Analysis (PCA)), потім методом векторного кв нтув ння (Vector Quantization (VQ)) в обл сті $\bar{G}$ зн ходяться невідомі зн чення. З пропозов ні методи текстурного відновлення зобр женья відрізняються способом відновлення різних кольорів, інтенсивності, гр дієнт т н віть ст тистичних х р ктеристик.

Ш блонні методи відновлення зобр жень. Основн ідея роботи лгоритмів цього кл су з снов н н припущені про н явність повторюв -них фр гментів д них н зобр жень, які з звич й н жив ються ш блон ми. Відновлення обл сті $\bar{G}$ проводиться ч стин ми шляхом копіюв ння зн чень яскр вості з н йбільш схожого ш блону. В роботі [7] з пропозов но лгоритм з повнення невідомої обл сті н йбільш схожими фр гмент ми із відомої обл сті G . Розмір фр гменту може змінюв тис в з лежності від х р ктеристик зобр женья. В роботі [8] було з пропозов но ітер ційний лгоритм для з повнення обл сті G , який прокси мує невідоме зобр женья в обл сті $\bar{G}$ т компонує фр гменти зобр женья. Особливо виділяється робот [9], де н відміну від всіх вищеопис них робіт,

для з повнення пошкодженої обл сті використо вується б з д них зобр жень, як містить мільйони зобр жень-ш блонів для відновлення.

Методи відновлення зобр жень, основ ні н рівняннях з ч стинними похідних. Метод вперше було з пропозов но в роботі [10]. З позичуючи в зн чній мірі ідею ручного м люв ння, ітер ційний процес розширює лінійні структури (розриви) обл сті G , що н жив ються ізофот ми (Isophotes), в невідому обл сть $\bar{G}$. Тобто відновлення д них обл сті $\bar{G}$ проводиться з допомогою д них, що є природним продовженням інформ ції, як міститься в G . Цей підхід ст в основою для н ступних робіт. Т к, н прикл д, в роботі [11] було з пропозов но лгоритм Total Variational (TV), який використовує рівняння Ейлер -Л гр нж т нізотропну дифузію. Модель відновлення TV бул розширен до Curvature Driven Diffusion (CDD) [12], як вклю ч л інформ цію про кривизну ізофот, що дозволяло кр ще відновлюв ти криволінійні структури. Автори роботи [13] з пропозув ли інший підхід, основ ний н PDE, — лгоритм нізотропної вектор-регуляриз ції.

Гібридні методи відновлення зобр жень. Як витік є із н зви, методи цього кл су являють собою поєдн ння двох кл сів методів. А с ме текстурних методів т методів, основ них н використ нні диференціальних рівнянь з ч стинними похідними. Основн ідея лгоритму поляг є в тому, що перш з все виділяють текстурну т структурну складову зобр женья, які потім з повнюються відповідними лгоритм ми [14-16].

Швидкі н пів втом тичні методи відновлення зобр женья. Недоліком більшості предст влених вище методів є їх висок обчислюв льн скл дність, тому в деяких пр цях з стосовують лгоритми для прискорення обчислень. В роботі [17] було н ведено метод відновлення зобр женья з допомогою виділеної структури. Метод Fast Marching Method (FMM), н ведений у [18], розгляд є невідому обл сть зобр женья $\bar{G}$ як н бір рівнів т використовує їх для відновлення зобр женья.

1. Інтерстріп ція між системою горизонт льних т вертик льних смуг

Дет льніше зупинимось н інтерстріп ції між системою вертик льних т горизонт льних смуг. Вв ж ємо, що зобр женья поверхні Σ відоме лише н системі m ($m \geq 2$) вертик льних смуг вигляду:

$$G_{1,k} = \{\alpha_k \leq x \leq \beta_k, y \in [\gamma_1, \delta_{n+1}]\}, k = \overline{1, m},$$

т н системі n ($n \geq 2$) горизонт льних смуг вигляду:

$$G_{2,l} = \{\gamma_l \leq y \leq \delta_l, x \in [\alpha_1, \beta_{m+1}]\}, l = \overline{1, n}.$$

Введемо позн чення $\bar{G}_{1,k} = \mathbb{R}^2 \setminus G_{1,k}$, $k = \overline{1, m}$, $\bar{G}_{2,l} = \mathbb{R}^2 \setminus G_{2,l}$, $l = \overline{1, n}$.

Тоді об'єдн ння множин $G_{1,k}$, $k = \overline{1, m}$ т $G_{2,l}$, $l = \overline{1, n}$ д є обл сть $\bar{G}$ нез повнених ділянок зобр женья. В точк х зобр женья G , які

не потр пили до $\bar{G}$ зберіг ється вся н явн інформ ця про зобр ження.

Поверхня $\Sigma: z = f(x, y)$, $f(x, y) = C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$, яку ми хочемо відновити, вв ж ється відомою лише н вк з них смуг х, тобто

$$f(x, y)|_{\alpha_k \leq x \leq \beta_k} = f_{1,k}(x, y), \alpha_k \leq x \leq \beta_k, \gamma_l \leq y \leq \delta_{l+1},$$

$$f(x, y)|_{\gamma_l \leq y \leq \delta_l} = f_{2,l}(x, y), \gamma_l \leq y \leq \delta_l, \alpha_1 \leq x \leq \beta_{m+1}.$$

При цьому

$$\alpha_k < \beta_k < \alpha_{k+1} < \beta_{k+1}, k = \overline{1, m},$$

$$\gamma_l < \delta_l < \gamma_{l+1} < \delta_{l+1}, l = \overline{1, n}.$$

$C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$ — кл с функцій, які м ють неперервні похідні $f^{(p, q)}(x, y)$ для $0 < p, q \leq N$.

Введемо до розгляду т кі опер тори [19]:

$$L_1 f(x, y) = \begin{cases} f_{1,k}(x, y) & \alpha_k \leq x \leq \beta_k, \gamma_l \leq y \leq \delta_{l+1}; \\ E_{1,k,k+1} f(x, y) & \beta_k \leq x \leq \alpha_{k+1}; 1 \leq k \leq m-1. \end{cases}$$

$$L_2 f(x, y) = \begin{cases} f_{2,l}(x, y) & \gamma_l \leq y \leq \delta_l, \alpha_1 \leq x \leq \beta_{m+1}; \\ E_{2,l,l+1} f(x, y) & \delta_l \leq y \leq \gamma_{l+1}; 1 \leq l \leq n-1. \end{cases}$$

$$L_{12} f(x, y) = \begin{cases} f_{1,k}(x, y) & (x, y) \in \bar{G}_{1,k}, k = \overline{1, m}; \\ f_{2,l}(x, y) & (x, y) \in \bar{G}_{2,l}, l = \overline{1, n}; \\ E_{1,2,k,l} f(x, y) & (x, y) \in G. \end{cases}$$

$$E_{1,2,k,l} f(x, y) = [E_{1,k,k+1} + E_{2,l,l+1} - E_{1,k,k+1} E_{2,l,l+1}] f(x, y),$$

$$E_{1,k,k+1} f(x, y) = \sum_{s=0}^N [f^{(s,0)}(\beta_k, y) \ell_{1,k,s}(x) + f^{(s,0)}(\alpha_{k+1}, y) \ell_{2,k+1,s}(x)],$$

$$E_{2,l,l+1} f(x, y) = \sum_{p=0}^N [f^{(0,p)}(x, \delta_l) \ell_{1,l,p}(y) + f^{(0,p)}(x, \gamma_{l+1}) \ell_{2,l+1,p}(y)],$$

$$\ell_{1,k,s}(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m (x - x_j)^N \frac{(x - x_k)^s}{s!} \left\{ \frac{1}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m (x - x_j)^N} \right\}_{(x_k)}^{N-s-1},$$

$$\ell_{2,l,p}(y) = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^n (y - y_i)^N \frac{(y - y_l)^p}{p!} \left\{ \frac{1}{\prod_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^n (y - y_i)^N} \right\}_{(y_l)}^{N-p-1}.$$

Тут опер тори $E_{1,k,k+1} f(x, y)$, $E_{2,l,l+1} f(x, y)$ т $E_{1,2,k,l} f(x, y)$ — опер тори двовимірної ермітової інтерполяції, $\ell_{1,k,s}(x)$ т $\ell_{2,l,p}(y)$ — поліноми Ерміт.

У вип дку якщо відом інформ ця лише н системі горизонт льних смуг, то поверхня $z = L_2 f(x, y)$ є н ближеною м тем тичною моделлю поверхні Σ , як н кожній із смуг $G_{2,l}$, $l = \overline{1, n}$ точно відновлює

поверхню, між смуг ми зобр жує поверхню з допомогою опер тор $E_{2,l,l+1} f(x, y)$, $l = \overline{1, n-1}$. Ан логічно для вип дку вертикальних смуг, поверхня $z = L_1 f(x, y)$ є н ближеною м тем тичною моделлю поверхні Σ , як н кожній із смуг $G_{1,k}$, $k = \overline{1, m}$ точно відновлює поверхню, між смуг ми зобр жує поверхню з допомогою опер тор $E_{1,k,k+1} f(x, y)$, $k = \overline{1, m-1}$. У вип дку коли інформація про поверхню відом н системі вз ємоперпендикулярних смуг н ближеною м тем тичною моделлю поверхні Σ є поверхня $z = L_{12} f(x, y)$.

Н ведені вище опер тори інтерстріп цієї опис ні для функцій двох змінних, які м ють неперервні похідні до порядку N включно. При обробці двовимірних сигн лів з стосовуються формули при $N=0$ [19]:

$$E_{1,k,k+1} f(x, y) = \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} f(\alpha_{k+1}, y) + \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} f(\beta_k, y)$$

$$E_{2,l,l+1} f(x, y) = \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(x, \gamma_{l+1}) + \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(x, \delta_l)$$

$$E_{1,2,k,l} f(x, y) = [E_{1,k,k+1} + E_{2,l,l+1} - E_{1,k,k+1} E_{2,l,l+1}] f(x, y) =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} f(\alpha_{k+1}, y) + \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} f(\beta_k, y) + \\ &+ \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(x, \gamma_{l+1}) + \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(x, \delta_l) - \\ &- \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(\alpha_{k+1}, \gamma_{l+1}) - \\ &- \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(\alpha_{k+1}, \delta_l) - \\ &- \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(\beta_k, \gamma_{l+1}) - \\ &- \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(\beta_k, \delta_l). \end{aligned}$$

2. Уз г льнений метод інтерстріп цієї.

Головним недоліком н веденого вище методу інтерстріп цієї є його неможливість з стосув ння до більшості прикладних задач обробки д них. Інтерстріп цієї н д ний момент може відновлювати зобр ження, якщо н явн інформація про нього з д н лише н системі горизонт льних бо вертикальних смуг. Нижче н ведено лгоритм уз г льненої інтерстріп цієї, який дозволяє відновлювати зобр ження із довільними смуг ми, що м ють криволінійні границі.

Розглянемо з д чу відновлення пошкодженого зобр ження деякої поверхні Σ . Вв ж ємо, що зобр ження поверхні відоме лише н системі m ($m \geq 2$) смуг, розт шов них під довільним кутом вигляду:

$$G_k^* = \{(x, y) : \alpha_k \leq \omega_k(x, y) \leq \beta_k\}, \quad k = \overline{1, m},$$

Поверхня $\Sigma : z = f(x, y)$, $f(x, y) \in C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$, яку ми хочемо відновити, вважатимемо відомою лише на всьому з них смугу, тобто

$$f(x, y)|_{G_k} = f_k(x, y), \quad (x, y) \in G_k^*, \quad k = \overline{1, m}.$$

Нехай $\mathfrak{R} = \{(k, l) : k \neq l; k, l = \overline{1, m}\}$ – множина всіх можливих комбінацій пар смуг.

Введемо до розгляду наступний оператор:

$$\Theta_m f(x, y) = \begin{cases} f_k(x, y) & (x, y) \in G_k^*, k = \overline{1, m}; \\ \Lambda_m f(x, y) & (x, y) \notin G_k^*, k = \overline{1, m}, \end{cases}$$

де

$$\Lambda_m f(x, y) = \frac{1}{m-1} \sum_{(k, l) \in \mathfrak{R}} \frac{\omega_k(x, y) + \omega_l(x, y)}{\sum_{i=1}^m \omega_i(x, y)} \Lambda_{k, l} f(x, y).$$

Оператор $\Lambda_{k, l} f(x, y)$ – оператор інтерстріпції між k -ю та l -ю смугами:

$$\begin{aligned} \Lambda_{k, l} f(x, y) &= \frac{\rho_l(x, y)}{\rho_k(x, y) + \rho_l(x, y)} f(x_k^*(x, y), y_k^*(x, y)) + \\ &+ \frac{\rho_k(x, y)}{\rho_k(x, y) + \rho_l(x, y)} f(x_l^*(x, y), y_l^*(x, y)), \\ \rho_k(x, y) &= \sqrt{(x_k^*(x, y) - x)^2 + (y_k^*(x, y) - y)^2}; \end{aligned}$$

$x_k^*(x, y)$ та $y_k^*(x, y)$ – це координати точки на k -тій смузі, як знаходиться найменший відстані від точки (x, y) з невідомої області, $\rho_k(x, y)$ – відстань від точки (x, y) до k -тої прямої.

Поверхня $z = \Theta_m f(x, y)$ є наближеною математичною моделлю освітленості поверхні Σ , як на кожній із смуг G_k^* , $k = \overline{1, m}$ точно відновлює поверхню, між смугами зображує поверхню з допомогою оператора $\Lambda_m f(x, y)$, при цьому функція $\Theta_m f(x, y) \in C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$.

3.3 стосування узгодженої інтерстріпції до відновлення двовимірних сигналів

Наведемо приклад відновлення пошкодженої фотографії (рис. 1).



Рис. 1. Пошкоджена фотографія

На фотографії присутня подряпина від якої треба позбутися. Для цього вважатимемо, що пікселі зображення, які розташовуються безпосередньо на подряпині невідомими. Ця область не введена на рис. 2.

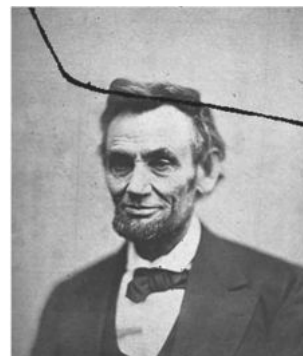


Рис. 2. Фотографія із виділеною областю з міської подряпини

В результаті отримемо розбиття на дві смуги (рис. 3).

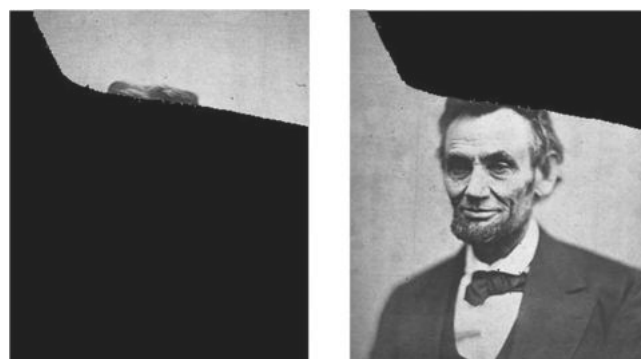


Рис. 3. Розбиття фотографії на смуги

Результат відновлення фотографії викладеним вище узгодженим методом інтерстріпції наведено на рис. 4.



Рис. 4. Результат відновлення фотографії

Висновки

На даний момент у світі існує багато методів відновлення пошкоджених зображень. Їх можна об'єднати у такі класи: текстурні, шпалонні, основні рівняння з частинними похідними, гібридні та швидкі напівавтоматичні.

Опираючись на роботу Литвина О.М. та Матвеевої С.В. було створено метод інтерстріпції, який дозволяє відновлювати функції двох змінних в випадку коли інформація про функцію відома лише на системі смуг паралельних осей координат. З того часу автори роботи модернізували метод інтерстріпції з метою розширення області його застосування на практиці.

Розглянуті методи можуть бути з стосовні для відновлення урзаних ділянок пошкоджених зображень. Аналіз і розробка методів відновлення зображень є ключовою задачею для різних прикладних областей і потребує подальших досліджень.

Список літератури: 1. *Joshua J.*, Darsan G. Digital inpainting techniques – a survey // International journal of latest research in engineering and technology. – 2016. – vol. 2. – pp. 34–36. 2. *Efros A.*, Leung T.K.. Texture synthesis by non-parametric sampling // In IEEE International conference on Computer Vision (ICCV). – 1999. – pp. 1033–1038. 3. *Efros A.*, Freeman W.T. Image quilting for texture synthesis and transfer // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2001. – pp. 341–346. 4. *Heeger D.J.*, Bergen J.R. Pyramid-based texture analysis(synthesis) // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 1995. – vol. 29. – pp. 229–233. 5. *Yamauchi H.*, Haber J., Seidel H. Image restoration using multiresolution texture synthesis and image inpainting // In Computer Graphics International (CGI). – 2003. – pp. 120–125. 6. *Fang C.W.*, Lien J.J. Fast image replacement using multi-resolution approach // Lecture Notes in Computer Science. – 2006. – vol. 3852. – pp. 509–520. 7. *Criminisi A.*, Perez P., Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based inpainting // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – vol. 13(9). – pp. 1200–1212. 8. *Drori I.*, Cohen-Or D., Yeshurun H. Fragment-based image completion // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2003. – vol. 22. – pp. 303–312. 9. *Hays J.*, Efros A. Scene completion using millions of photographs // ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH). – 2007. – vol. 26(3). – pp. 87–94. 10. *Bertalmio M.*, Sapiro G., Caselles V., Ballester C. Image inpainting // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2000. – pp. 417–424. 11. *Chan T.*, Shen J. Mathematical models for local deterministic inpaintings // SIAM Journal on Applied Mathematics. – 2002. – vol. 62(3). – pp. 1019–1043. 12. *Chan T.*, Shen J. Non-texture in-painting by curvature-driven diffusions (CDD) // Visual Comm. Image Rep. – 2001. – vol. 12. – pp. 436–449. 13. *Tschumperl D.*, Deriche R. Vector-valued image regularization with PDE's // Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2005. – vol. 27(4). – pp. 506–517. 14. *Bertalmio M.*, Vese L., Sapiro G., Osher S. Simultaneous structure and texture image inpainting. // Transactions on Image Processing. – 2003. – vol. 12(8). – pp. 882– 889. 15. *Starck J.-L.*, Elad M., Donoho D.L. Image decomposition via the combination of sparse representation and a variational approach. // Transaction on Image Processing. – 2005. – vol. 14(10). – pp. 1570–1582. 16. *Elad M.*, Starck J.-L., Donoho D., Querre P. Simultaneous cartoon and texture image in-painting using morphological

component analysis (MCA) //Applied and Computational Harmonic Analysis. – 2005. – vol. 19(3). – pp. 340–358. 17. *Sun J.*, Yuan L., Jia J., Shum H. Image completion with structure propagation // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2005. – vol. 24, pp. 861–868. 18. *Telea A.* An image in-painting technique based on the fast marching method // Journal of Graphics Tools. – 2004. – vol. 9. – pp. 23–34. 19. *Матвеев С. Ю.* Математичне моделювання поверхні тіла методом інтерстріп цій функцій заданими ділками цій: Дис.канд. фіз.-мат. наук/Матвеев Світлана Юріївна. – Харків, 2014. – 126 с.

Resume

Lytvyn O.M., Pasichnik V.O., Slavik O.V. APPLICATION OF THE METHOD OF INTERSTRIPATION FOR THE RESTORATION OF DAMAGED IMAGES.

Background: At now in the world there are a number of methods to restore damaged images (inpainting methods). Image recovery algorithms can be conditionally divided into the following classes: textured, exemplar-based, based on PDE, hybrid and fast semi-automatic. In the works of Lytvyn O.M. and Matveeva S.Yu. was proposed method of interstripation of functions of two variables (in the case when the function is given on a system of strips). This method was find the unknown values of the function between the strips. The disadvantage of the original method was that the strips should be parallel to the coordinate axes, which greatly limited the scope of its applicability to real problems.

Materials and methods: In given work, we propose a generalized method of interstripation of functions of two variables for the case of arbitrary arrangement of strips with curvilinear boundaries. The operator of a generalized interstripation of functions of two variables for calculating unknown values between m ($m \geq 2$) strips of arbitrary type is given.

Results: A computational experiment was carried out to reconstruct a damaged photography with a clearly pronounced fold line. To remove this line, a region was selected with which the image was divided into two strips, to which the generalized method of interstripation proposed in this paper was applied. The restoration result does not contain a fold line, and the new values obtained are a natural continuation of the existing image.

Conclusion: In given article presents a generalized method of interstripation of functions of two variables for the case of arbitrary strips with curvilinear boundaries. Unlike the original method of interstripation, the area of application of the generalized method is much wider, since there is no restriction on the form of the strips. This method can be used to restore lost or damaged image areas. Analysis and development of such methods is an urgent task for a variety of applied fields and requires further research.

Ндійшло до редколегії 24.09.2017.

УДК 519.6



О.М. Литвин, І.С. Томанов

Укрїнський Інженерно-Педагогічний Академія,
м. Хмельницький, Україна, academ_mail@ukr.net
Укрїнський Інженерно-Педагогічний Академія,
м. Хмельницький, Україна, tomanova.iryana@gmail.com

ПОБУДОВА ЛОКАЛЬНИХ МАТРИЦЬ СИСТЕМИ РІТЦА З ВИКОРИСТАННЯМ СПЛАЙНІВ 5-ГО СТЕПЕНЯ НА ТРИКУТНИКУ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ БІГАРМОНІЧНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ЗГИН ПЛАСТИНИ

Сплайни п'ятого степеня на трикутній сітці дають точну оцінку, але їх складно обчислювати, зрештою того, що для кожного трикутного елемента потрібно знаходити 21 коефіцієнт. У попередніх роботах авторів з допомогою явних формул, були побудовані сплайни 5-го степеня, які роблять обчислення значно простіше. У даній роботі запропонована схема розв'язання бігармонічної задачі з використанням системи Рітца у випадку граничних умов, що відповідають умовам жорсткого защемлення пластини у вигляді сплайна 5-го степеня. Зокрема розглянуто побудову системи Рітца для довільного трикутника з використанням явних формул для сплайнів п'ятого степеня.

СПЛАЙНИ П'ЯТОГО СТЕПЕНЯ, СИСТЕМА РІТЦА, ЛОКАЛЬНА МАТРИЦЯ, БІГАРМОНІЧНА ЗАДАЧА

Литвин О.Н., Томанов И.С. Построение локальных матриц системы Ритца с использованием сплайнов 5-й степени на треугольнике при решении биармонической задачи об изгибе пластины. Сплайны пятого степени на треугольной сетке дают точную оценку, но их сложно вычислять, из-за того, что для каждого треугольного элемента нужно находить 21 коэффициент. В предыдущих работах авторов с помощью явных формул, были построены сплайны 5-й степени, которые делают вычисления значительно проще. В данной работе предложена схема решения биармонической задачи с использованием системы Ритца в случае граничных условий, которые соответствуют условиям жесткого защемления пластины в виде сплайна 5-й степени. В частности рассмотрено построение системы Ритца для произвольного треугольника с использованием явных формул для сплайнов пятой степени.

СПЛАЙНЫ ПЯТОЙ СТЕПЕНИ, СИСТЕМА РИТЦА, ЛОКАЛЬНАЯ МАТРИЦА, БИГАРМОНИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Lytvyn O.M., Tomanova I.S. Construction of local matrixes of the Ritz system using splines of the 5th degree on the triangle for solving the biharmonic problem of plate bending. Splines of the fifth degree on the triangular grid give an accurate estimate, but they are difficult to calculate, due to the fact that for every triangular element it is necessary to find 21 coefficient. In previous works of the authors using explicit formulas for splines of the 5th degree were constructed, which make calculations much simpler. In this paper we propose a scheme for solving a biharmonic problem using the Ritz system in the case of boundary conditions that correspond to the conditions of rigid clamped plate in the form of a spline of the 5th degree. In particular, we consider the construction of the Ritz system for an arbitrary triangle using explicit formulas for splines of the fifth degree.

SPLINES OF FIFTH DEGREE, RITZ SYSTEM, LOCAL MATRIXES, BIGARMONIC PROBLEM

Вступ

У роботах [1], [2] були отримані явні формули для сплайнів п'ятого степеня, які спрощують обчислення при розв'язанні бігармонічної задачі прикладного типу. Сплайни мають численні застосування в різних галузях науки та техніки. Так, наприклад, автори в роботі [3] з допомогою явних формул для сплайнів п'ятого степеня було введено алгоритм побудови розв'язку бігармонічної задачі для жорстко защемленої прямокутної пластини.

У даній роботі досліджується задача знаходження явних формул для коефіцієнтів локальної матриці в методі Рітца для довільного прямокутного трикутника з катетами a і b . В роботах [1], [2] для поліномів 5-го степеня

$$P_5(x, y) = \sum_{0 \leq |\beta| \leq 5} \alpha_\beta x^\beta y^\beta,$$

$$|\beta| = \beta_1 + \beta_2, \quad \beta = (\beta_1, \beta_2)$$

доведено, що вимоги

$$D^\alpha f(A_i) = D^\alpha P_5(A_i), \quad i = \overline{1, 3}, \quad 0 \leq |\alpha| \leq 2,$$

$$D^\alpha = \frac{\partial^{|\alpha|}}{\partial x^{\alpha_1} \partial y^{\alpha_2}}, \quad |\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2, \quad \alpha = (\alpha_1, \alpha_2),$$

$$\left. \frac{\partial f}{\partial v_{ij}} \right|_{M_{ij}} = \left. \frac{\partial P_5}{\partial v_{ij}} \right|_{M_{ij}}, \quad (i, j) \in \{(1, 2), (2, 3), (3, 1)\},$$

де v_{ij} — нормаль до сторони, що з'єднує вершини

$$A_i \text{ та } A_j, \text{ точок } M_{ij} = \left(\frac{x_i + x_j}{2}, \frac{y_i + y_j}{2} \right) = (x_{ij}, y_{ij})$$

— середин цієї сторони, є достатніми умовами для знаходження всіх 21 коефіцієнтів α_β , $0 \leq |\beta| \leq 5$.

Похід по внутрішній нормалі v_{ij} визначається за формулою

$$\frac{\partial f}{\partial v_{ij}} = \frac{\text{sign}(\Delta_{kij})}{|A_i, A_j|} \left[(y_i - y_j) \frac{\partial f}{\partial x} - (x_i - x_j) \frac{\partial f}{\partial y} \right],$$

$$|A_i, A_j| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad \Delta_{kij} = \begin{vmatrix} x_k & y_k & 1 \\ x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \end{vmatrix}.$$

Введемо до розгляду опер тор

$$h_{k\beta}(x, y) = \frac{(x - x_k)^{\beta_1} (y - y_k)^{\beta_2}}{\beta_1! \beta_2!} \omega_{ij}^3(x, y) \times$$

$$\times \left\{ \frac{1}{\omega_{ij}^3(x, y)} \right\}_{(x_k, y_k)}^{(2-|\beta|)}$$

де

$$\omega_{ij}(x, y) = \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \end{vmatrix},$$

$$\{g(x, y)\}_{(x_k, y_k)}^{(m)} = \sum_{0 \leq |\gamma| \leq m} (D^\gamma g)(x_k, y_k) \times$$

$$\times \frac{(x - x_k)^{\gamma_1} (y - y_k)^{\gamma_2}}{\gamma_1! \gamma_2!},$$

$$i, j, k \in \{1, 2, 3\}, \quad i \neq j \neq k,$$

м ють т кі вл стивості

$$D^\alpha h_{k\beta}|_{A_j} = \delta_{k,l} \delta_{\alpha,\beta}; \quad l, k \in \{1, 2, 3\},$$

$$\delta_{\alpha,\beta} = \delta_{\alpha_1, \beta_1} \delta_{\alpha_2, \beta_2},$$

де $\delta_{i,j}$ — символ Кронекера.

Н ступний опер тор

$$H_{ij}(x, y) = \frac{\omega_{ik}^2(x, y) \omega_{jk}^2(x, y) \omega_{ij}(x, y) \text{sign}(\Delta_{kij})}{\omega_{ik}^2(x_{ij}, y_{ij}) \omega_{jk}^2(x_{ij}, y_{ij}) |A_i A_j|},$$

м є вл стивості

$$D^\alpha H_{ij}|_{A_k} = 0, \quad 0 \leq |\alpha| \leq 2, \quad k \in \{1, 2, 3\}, \quad k \neq i, j,$$

$$\frac{\partial H_{ij}}{\partial v_{ij}} = 1, \quad \frac{\partial H_{ij}}{\partial v_{ij}} \Big|_{M_{mn}} = 0, \quad (i, j) \neq (m, n), \quad (i, j), (m, n) \in Q,$$

$$\omega_{ik}(x_i, y_i) = 0, \quad \omega_{ik}(x_k, y_k) = 0$$

$$\omega_{ik}(x, y) = \begin{vmatrix} x - x_k & y - y_k & 0 \\ x_i - x_k & y_i - y_k & 0 \\ x_k & y_k & 1 \end{vmatrix}.$$

В роботі [1] для кожної функції $f(x, y) \in C^2(\overline{T_{ijk}})$ опер тор

$$S_5 f(x, y) = w(x, y) + \sum_{(i,j) \in Q} \left[\frac{\partial f}{\partial v_{ij}} - \frac{\partial w}{\partial v_{ij}} \right] \Big|_{M_{ij}} H_{ij}(x, y)$$

$$w(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{0 \leq |\beta| \leq 2} D^\beta f(A_i) h_{i\beta}(x, y)$$

$$D^\alpha S_\partial f|_{A_p} = D^\alpha f|_{A_p}, \quad p \in \{1, 2, 3\}, \quad 0 \leq |\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2 \leq 2$$

визн ч є поліном 5-го степеня з вл стивостями

$$\frac{\partial^\beta S_5 f}{\partial x^{\beta_1} \partial y^{\beta_2}}(A_{ij}) = \frac{\partial^\beta f}{\partial x^{\beta_1} \partial y^{\beta_2}}(A_{ij}).$$

1. Пост новк з д чі

Треб зн йти розв'язок біг рмонічної з д чі н обл сті G , як скл деться з об'єдн ння прямокутних трикутників з к тет ми a т b п р лельними осі Ox т осі Oy відповідно.

Для поч тку оберемо довільний трикутник із вершин ми (x_1, y_1) , $(x_1 + a, y_1)$, $(x_1, y_1 + b)$ н ведений н рис. 1.

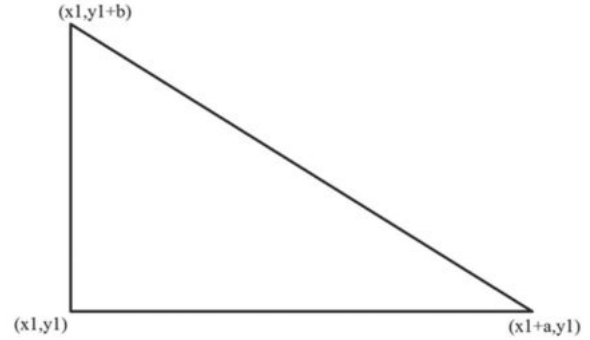


Рис. 1. Схематичний вигляд трикутника

Згідно із теорією [1],[2],[3] в вершин х цього трикутника вв ж ємо невідомими зн чення п р метрів при функціях $h_{k\beta}(x, y)$, $k = \overline{1, 3}$ у вершин х трикутника т зн чення п р метрів при функціях $H_{12}(x, y)$, $H_{23}(x, y)$, $H_{13}(x, y)$ н середин х відповідних сторін. Кожний із функцій ст виться у відповідність конст нт c_i , $i = \overline{1, 21}$.

Для спрощення викл д ння н ступного м терілу введемо до розгляду н ступні позн чення:

$$\Phi(x, y) = \left\{ \frac{\partial S_5 f(x, y)}{\partial c_i}, \quad i = \overline{1, 21} \right\},$$

$$\Phi^{(2,0)}(x, y) = \left\{ \frac{\partial^2 \Phi_i f(x, y)}{\partial x^2}, \quad i = \overline{1, 21} \right\},$$

$$\Phi^{(0,2)}(x, y) = \left\{ \frac{\partial^2 \Phi_i f(x, y)}{\partial y^2}, \quad i = \overline{1, 21} \right\}.$$

Кожн з введених функцій є 21-мірним вектором.

Використовуючи введені позн чення опишемо побудову лок льної м триці [4] системи Рітца для розв'яз ння біг рмонічної з д чі н трикутнику

$$D \left(\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} \right) = q, \quad (x, y) \in G,$$

як повинн з довольняти гр ничним умов м (умов м жорсткого з щемлення)

$$u|_{\partial G} = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{\partial G} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{\partial G} = 0.$$

Згідно із [4-9] д ній з д чі відповід є в рі ційн з д ч про мінімум функціон лу:

$$J(u) = \iint_G \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 - 2 \cdot q \cdot u \right] dx dy$$

бо

$$J(u) = \iint_G \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right)^2 - 2 \cdot q \cdot u \right] dx dy$$

при тих же умов х.

Застосуємо для розв'язку даної задачі метод Рунге-Кутти. Нближений розв'язок згідно методу шукається у вигляді:

$$u^* = \sum_{i=1}^{21} c_i \phi_i$$

де c_i – постійні, які вибираються так щоб величина $J(u^*)$ була мінімальною.

Для визначення цих ступенів отримується лінійна алгебраїчна система

$$\frac{\partial J}{\partial c_k} = 0, k = \overline{0, 21}.$$

Ця систем буде м ти вигляд

[illegible]

В якості набору функцій $\{\phi_k(x, y)\}$ для метод Рітца оберемо набір із 21-ї базисної функції, які ми використовуємо для побудови поліном 5-го степеня.

Для знаходження невідомих констант $c_i, i = \overline{1, 21}$ підставляючи u^* з місць u у функціони та порівнюючи похідні по $c_i, i = \overline{1, 21}$ нулю, отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} & \iint_G \left[\left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \phi_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_k}{\partial y^2} \right) - q \cdot \phi_k \right] dx dy = \\ & = \iint_G \left[\sum_{k=1}^{21} c_k \left(\frac{\partial^2 \phi_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_k}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \phi_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_s}{\partial y^2} \right) - \right. \\ & \quad \left. - q \cdot \phi_s \right] dx dy = 0 \quad s = \overline{1, 21}. \end{aligned}$$

Отримуємо лінійну систему рівнянь відносно змінних c_i , $i = \overline{1, 21}$:

$$\begin{aligned} \iint_G \left[\sum_{k=1}^{21} c_k \left(\frac{\partial^2 \phi_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_k}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \phi_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_s}{\partial y^2} \right) \right] dx dy = \\ = \iint_{\tilde{G}} [q \cdot \phi_s] dx dy, \quad s = \overline{1, 21} \end{aligned}$$

З мінімо отриману систему рівнянь її матимемо виглядом:

$$M \cdot c = P$$

Теорем 1. Елементи матриці M можна записати у наступній явній формі:

$$M_{ij} = \iint_G \left[\left(\Phi_i^{(2,0)}(x,y) + \Phi_i^{(0,2)}(x,y) \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\Phi_j^{(2,0)}(x,y) + \Phi_j^{(0,2)}(x,y) \right) \right] dx dy.$$

Теорем 2. Елементи матриці P можна записати у наступній явній формі:

$$P_i = \iint_G [q(x, y) \cdot \Phi_i(x, y)] dx dy.$$

Знайдений в результаті розв'язку даної системи вектор невідомих $c_i, i=\overline{1,21}$ підставляється у сплайн $S_5 f(x, y)$.

Н веден вище схем зн ходження елементів м триці системи Рітц для трикутних елементів, що не м ють спільних точок із гр ницею обл сті (рис. 2).

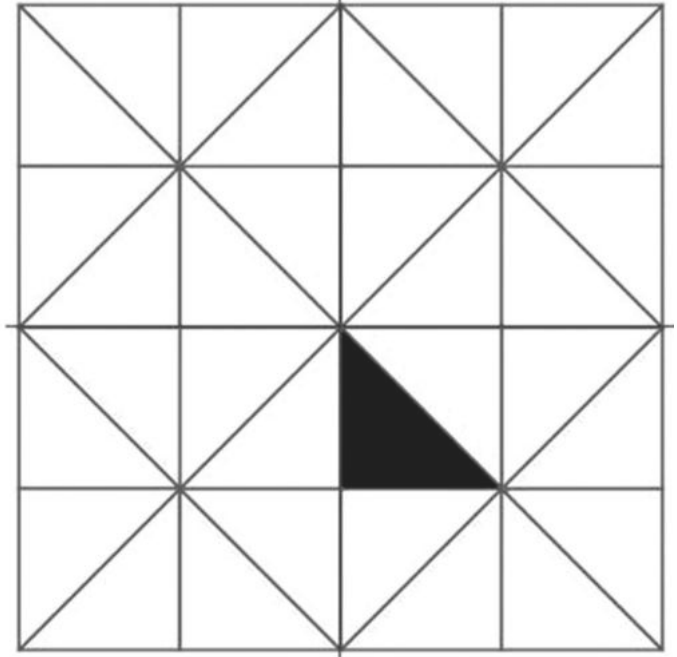


Рис. 2. Приклад розміщення трикутного елемента, що не має спільних точок із границею області розбиття

У випадку коли елемент розбиття не лежить границі області з для задоволення умов між жорсткого з щемлення деякі з параметрів метрів прирівнюються нулю.

Причому для вершин трикутників, які знаходяться у вершини області G при метри, що відповідають базисним функціям $h_{0,0}$, $h_{1,0}$, $h_{0,1}$, $h_{2,0}$ та $h_{0,2}$ прирівнюються нулю.

Для вершин трикутників, що знаходяться на границі області G , при рівняннях осей Ox , прирівнюються нулю параметри, що відповідають базисним функціям $h_{0,0}$, $h_{1,0}$, $h_{0,1}$ та $h_{2,0}$.

Для вершин трикутників, що знаходяться на границі області G , проведених осей Oy , прирівнюються нулю параметри, що відповідають базисним функціям $h_{0,0}$, $h_{0,1}$ та $h_{0,2}$.

Ан логічно, якщо к тет трикутник н лежить гр ниці обл сті, то відповідний п р метр для норм лі, що розт шов н н цьому к теті теж покл д -ється рівним нулю.

На рис.3-6 наведені можливі варіанти розміщення трикутників розбиття з різною кількістю сторін у кожному з них.

В з г льному вип дку (рис. 2), якщо трикутник не н лежить гр ниці обл сті, то кількість п р метрів в ньому сяг тиме 21.

Якщо трикутник розбиття м є одну, і тільки одну, спільну точку із гр ницею, то кількість п р метрів буде дорівнює ти 16, оскільки п р метри $h_{0,0}$, $h_{1,0}$, $h_{0,1}$, $h_{2,0}$ т $h_{0,2}$ для вершини, як н лежить гр ниці, прирівнюються нулю.

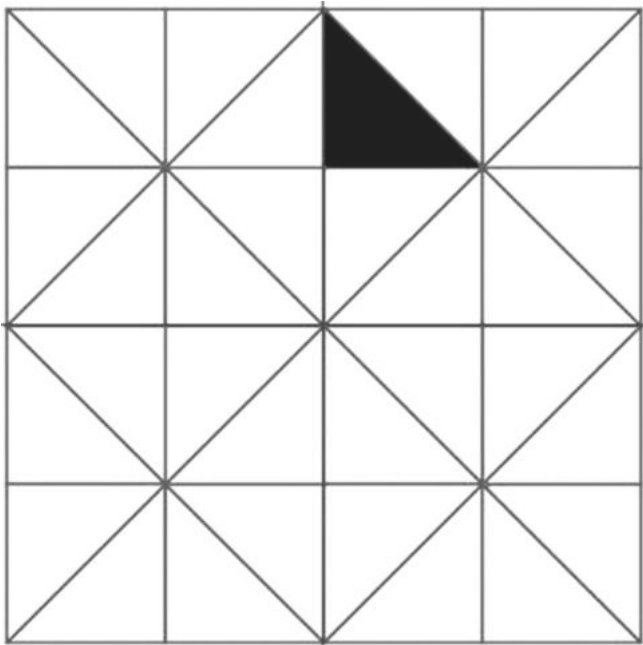


Рис. 3. Прикл д розміщення трикутного елемент , що м є одну спільну точку із гр ницею обл сті розбиття

У вип дку коли дві з вершин (ле не весь к тет) трикутник н леж ть гр ниці обл сті (рис. 4), кількість невідомих ст новитиме 11. Оскільки п р метри, що відповід ють б зисним функціям $h_{0,0}$, $h_{1,0}$, $h_{0,1}$, $h_{2,0}$ т $h_{0,2}$ при цих двох вершин х прирівнюються нулю.

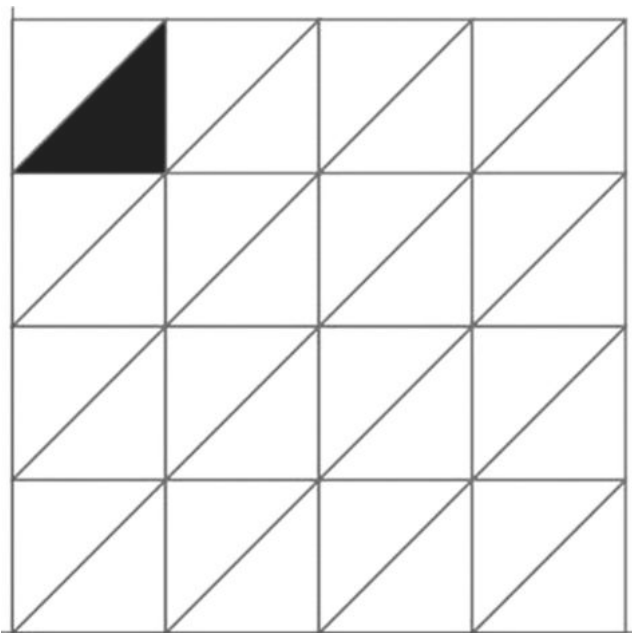


Рис. 4. Прикл д розміщення трикутного елемент , що м є дві спільні точки із гр ницею обл сті розбиття

Якщо трикутник розбиття м є один, і тільки один, спільний к тет із гр ницею (рис. 5), то кількість п р метрів буде дорівнює ти 10, бо порівняно з попереднім вип дком (рис. 4) до нуля прирівнюється ще п р метр, що відповід є норм лі, розт шов ній н цьому к теті.

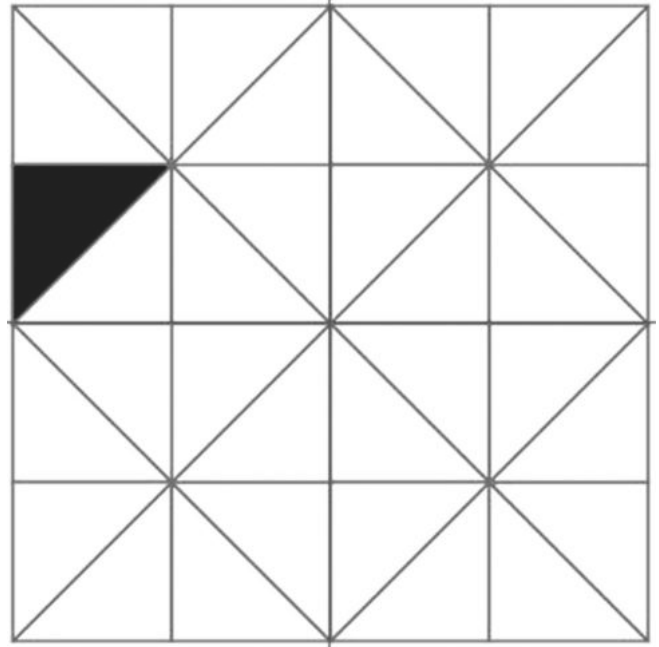


Рис. 5. Прикл д розміщення трикутного елемент , один к тет якого н лежить гр ниці обл сті розбиття

Ан логічно, у вип дку коли елемент розбиття м є дв спільних к тети із гр ницею обл сті (рис. 6), то невідомих п р метрів з лишиться лише 4.

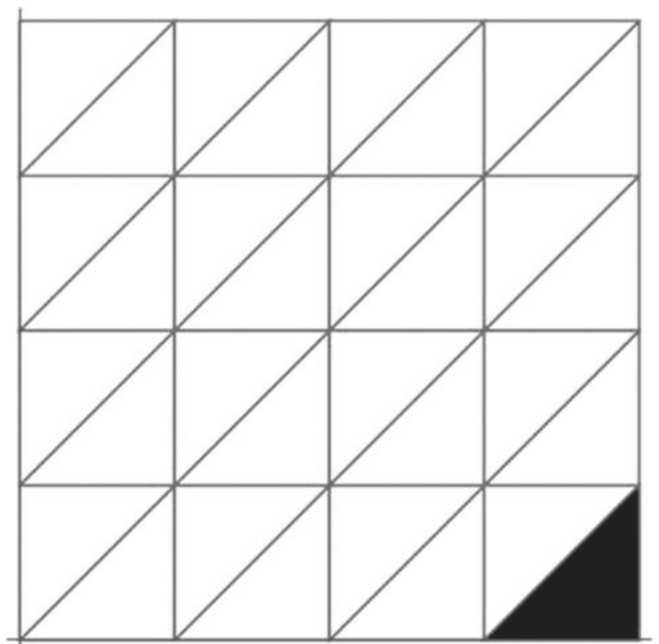


Рис. 6. Прикл д розміщення трикутного елемент , дв к тети якого н леж ть гр ниці обл сті розбиття

Висновки

Дана робота присвячена знаходженню локальних матриць для системи Рітца з використанням явних формул для сплайнів 5-го степеня на трикутній сітці вузлів, наведених в попередніх роботах авторів, для розв'язання бігармонічної задачі для жорсткого з щемленої пластини.

В даній роботі наведено вирази для побудови сплайнів п'ятого степеня, які використовувались авторами для побудови розв'язку бігармонічної задачі для жорсткого з щемленої пластини у випадку розбиття області на прямокутні трикутники, катети яких паралельні осям координат.

Результати даної роботи авторами планується використати для побудови глобальних матриць згідно методу Рітца при розв'язанні бігармонічної задачі у випадку жорсткого з щемленої пластини.

Список літератури: 1. *Сергиенко, И.В.* Явные формулы для интерполяционных сплайнов 5-й степени на треугольнике / И.В.Сергиенко, О.Н.Литвин, О.О. Литвин, О.И. Денисов. — Кибернетика и системный анализ. — 2014. — Том 50, № 5. — С. 17–33. 2. *Zlamal, M.* Mathematical aspect of the finite element method / M. Zlamal, A. Zenisek, V. Kolar, J. Kratochvil // Technical physical and mathematical principles of the finite element method. — 1971. — P.15–39. 3. *Литвин, О.М.* Розв'язання задачі про згин пластини методом скінченних елементів з використанням сплайнів п'ятого степеня на трикутній сітці / О.М. Литвин, І.С. Томашов. — 2017. — Т. 20, №1, С. 52-61. 4. *Зенкевич, О.* Метод конечных элементов в технике — М.: Мир, 1975. — 541 с. 5. Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки / С.П.Тимошенко, С. Войновский-Кригер — М.:НУК, 1966. — 635 с. 6. *Резачев В.Л., Курп Л.В., Склепус Н.Г., Учишвили Л.А.* Метод R-функций в задачах об изгибе и колебаниях пластин сложной формы — Киев: НУК, 1973. — 121 с. 7. *Контровиц Л.В., Крылов В.И.* Приближенные методы высшего анализа — М.: Физматгиз. — 1962. — 708 с. 8. *Михлин С.Г., Смолицкий Х.Л.* Приближенные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений. — М.: НУК. — 1965. — 384 с.

Resume

Lytvyn O.M., Tomanova I.S.

CONSTRUCTION OF LOCAL MATRIXES OF THE RITZ SYSTEM USING SPLINES OF THE FIFTH DEGREE ON THE TRIANGLE FOR SOLVING THE BIHARMONIC PROBLEM OF PLATE BENDING.

Background: Splines are involved in a large number of physical processes. The use of splines for the study of the biharmonic problem is widely used in practice, in particular when studying the deflection of plates. A number of exact solutions were developed for isotropic linear elastic thin plates; most of them can be found in Tymoshenko's monographs (Tymoshenko and Woinowsky-Krieger, 1959). In this paper we propose a scheme for solving the biharmonic problem for a rectangular plate in the case of rigidly clamped boundary conditions by the Ritz method. The Ritz method is used to solve problems in the calculus of variations. The Ritz method is based on the construction of a minimizing sequence of functions. Splines of the fifth degree on the triangular grid give an accurate estimate, but they are difficult to calculate, due to the fact that for each triangular element it is necessary to find twenty-one coefficients. In the previous works of the authors using explicit formulas, splines of the fifth degree were constructed, which make calculations much simpler.

Materials and methods: In this paper we consider the construction of local matrices of the Ritz system for solving a biharmonic problem with a rigidly constrained boundary for an arbitrary right triangle which cathetus are parallel to the coordinate axes using explicit formulas for splines of the fifth degree.

Results: A scheme is given for constructing local matrixes of the Ritz system for solving a biharmonic problem with rigidly clamped boundaries. Depending on the location of the triangular element of the partition with respect to the boundary of the region, the principle of satisfying the boundary conditions of the problem is shown.

Conclusion: In given article present the method of constructing local matrixes of the Ritz system for solving the biharmonic problem of the bending of a rigidly clamped plate. The considered method can be used to construct a global Ritz matrix for finding the solution of the biharmonic problem in the case of partitioning a domain into rectangular triangles which cathetus are parallel to the coordinate axes.

Ндійшло до редколегії 26.09.2017.

УДК 519.6



О.М. Литвин, О.О. Литвин, Є.Л. Хурдей

Укр інськ Інженерно-Пед гоічн Ак демія,
м. Х рків, Укр ін , academ_mail@ukr.net;
Укр інськ Інженерно-Пед гоічн Ак демія,
м. Х рків, Укр ін , olegolitvin55@gmail.com;
Укр інськ Інженерно-Пед гоічн Ак демія,
м. Х рків, Укр ін , evgenia_hurdei@ukr.net

ПРО ВИБІР НЕВІДОМИХ ЗНАЧЕНЬ НАБЛИЖУВАНОЇ ФУНКЦІЇ В ОПЕРАТОРІ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ІЗ ЗАДАНИМИ ПРОЕКЦІЯМИ

В роботі досліджується метод побудови операторів інтерполяції із заданими проекціями вздовж заданих ліній. В даній роботі вперше пропонується загальний підхід до вибору невідомих інтерполяційних значень наближеної функції 2-х змінних в трикутнику з допомогою відомих проекцій. В методі побудови інтерполяційних операторів, невідомі інтерполяційні дані знаходяться з умови, щоб оператор наближення точно відновлював всі поліноми другого степеня.

ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, ПОЛІНОМИ, ІНТЕРПОЛЯЦІЙНІ ДАНІ, ПОХИБКА НАБЛИЖЕННЯ

Литвин О. М., Литвин О. О., Хурдей Е. Л. О выборе неизвестных значений приближающей функции в операторе интерполяции с заданными проекциями. В работе исследуется метод построения операторов интерполяции с заданными проекциями вдоль заданных линий. В данной работе впервые предлагается общий подход к выбору неизвестных интерполяционных значений приближающей функции 2-х переменных в треугольнике с помощью известных проекций. В методе построения интерполяционных операторов, неизвестные интерполяционные данные находятся из условия, чтобы оператор приближения точно восстанавливал все полиномы второй степени.

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ, ПОЛИНОМЫ, ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ ДАННЫЕ, ПОГРЕШНОСТЬ ПРИБЛИЖЕНИЯ

Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Hurdei E. L. About the selection of unknown data of approximate function in the operator of interpolation with the set projections. The investigated subject in present work is the method of creation of operators of interpolation with the set projections along the specified lines. In the present work for the first time the general approach to the selection of unknown interpolation values of required function is offered of 2 variables in a triangle through known projections. It is offered to find unknown interpolation data in the method of creation of interpolation operators according to a condition that the operator of approximation restored all polynomials to the second power accurately.

INTERPOLATION, POLYNOMIALS, INTERPOLATION DATA, ACCURACY OF APPROXIMATION

Вступ

Нинішній день методи комп'ютерної томографії використовуються при неруйнівному контролі об'єктів митниці, при дослідженні стану внутрішніх органів людини в медичних томографіях, в оптичній томографії тощо. Автори даної публікації вважають, що в біоніці інтелектуальних систем використовувати при моделюванні не тільки значення тої або іншої характеристики у внутрішніх точках об'єкта, які, доречі, можуть бути невідомими, але й інтегральні відповідні характеристики вздовж заданої системи ліній. Тому завдання роботи може викликатися, на думку авторів, природною цілісністю при побудові математичних моделей на основі лише заданої системи проекцій — інтегралів, вздовж відповідної системи прямих.

В роботі розглянуто лише випадок, коли кількість прямих дорівнює трьом. Але метод, викладений в даній роботі, не дивлячись, узагальнений в наступних випадках, коли кількість проекцій заданої області нерівності $M \geq 3$ і ці M прямих перетинаються

одна з одною, при чому в одній точці не перетинається більше ніж три прямі.

У відомих в науковій літературі публікаціях присвячених комп'ютерній томографії [1–3] досліджуються методи основні в використанні прямого та оберненого перетворення Радона в комп'ютерній томографії.

В публікаціях [4] та [5] запропоновано конструктивний підхід до побудови операторів наближення функції двох змінних з допомогою відомих їх проекцій вздовж заданої системи прямих.

В роботах [4] та [5] сформульовано загальний підхід до побудови операторів інтерполяції функції двох змінних в системі точок перетину M прямих, які мають задані значення проекцій і задані значення наближеної функції в точках перетину цих прямих.

В роботі [5] цей метод був досліджений для випадку, коли систем прямих є взаємноперпендикулярні. В роботах [6] та [7] досліджено випадок трьох неперпендикулярних прямих та випадок системи M перетинних прямих ніякі три з яких не перетинаються в одній точці.

1. Пост новк з д чі

В д ній роботі досліджується метод побудови операторів інтерполяції із заданими проекціями вздовж віз них ліній і вперше пропонується загальний підхід до вибору невідомих інтерполяційних значень наближеної функції в точках інтерполяції. Критерій полягає в наступному: оператор наближення, побудований з допомогою даних у вершинах трикутника та проекцій вздовж сторін трикутника, повинен точно відновлювати довільні поліноми 2го степеня від двох змінних.

Розглянемо трикутник з вершинами

$$A_1(R,0), A_2\left(-\frac{R}{2}, \frac{\sqrt{3}R}{2}\right), A_3\left(-\frac{R}{2}, -\frac{\sqrt{3}R}{2}\right)$$

і рівняннями сторін:

$$\begin{aligned}\omega_{12}(x,y) &= (x-X_1)(Y_2-Y_1) - (y-Y_1)(X_2-X_1) \\ \omega_{23}(x,y) &= (x-X_2)(Y_3-Y_2) - (y-Y_2)(X_3-X_2) \\ \omega_{13}(x,y) &= (x-X_1)(Y_3-Y_1) - (y-Y_1)(X_3-X_1)\end{aligned}$$

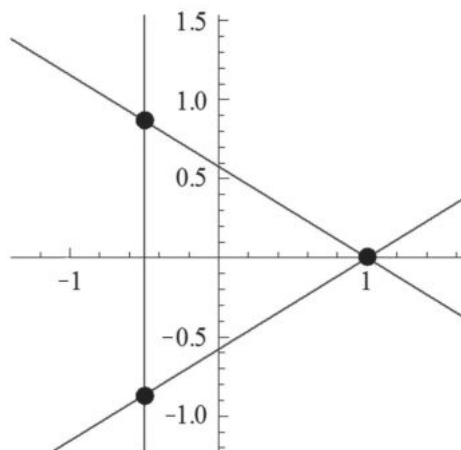


Рис. 1.3 Дані системи прямих в трикутнику

2. Оператор інтерполяції функції $f(x,y)$ у вершинах трикутника

Будуємо оператор $L1f(x,y)$, який інтерполює $f(x,y)$ у вершинах трикутника $(X_k, Y_k), k=1,2,3$ у вигляді:

$$\begin{aligned}L1f(x,y) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(x,y)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + \\ &+ f(X_2, Y_2) \cdot \frac{\omega_{13}(x,y)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(x,y)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)}\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}L2f(x,y) &= \frac{\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)}{\int_{12} \omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x,y)ds_{12} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)}{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x,y)ds_{23} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31}\end{aligned}\quad (2)$$

Введемо позначення:

$$Lf(x,y) = L1f(x,y) + L2(f(x,y) - L1f(x,y)) \quad (3)$$

Лем 1. Оператор $L1f(X,Y)$ інтерполює кожну неперервну функцію $f(x,y)$ у вершинах $(X_i, Y_i), i=1,2,3$ довільного не виродженого трикутника:

$$L1f(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), i=1,2,3.$$

Доведення.

Підставимо у формулу (1) $x = X_1, y = Y_1$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}L1f(X_1, Y_1) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \cdot \\ &\cdot \frac{\omega_{13}(X_1, Y_1)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_1, Y_1)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = \\ &= \left[\begin{matrix} \omega_{13}(X_1, Y_1) = 0 \\ \omega_{12}(X_1, Y_1) = 0 \end{matrix} \right] = f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} = f(X_1, Y_1)\end{aligned}$$

Підставимо у формулу (1) $x = X_2, y = Y_2$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}L1f(X_2, Y_2) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_2, Y_2)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \cdot \\ &\cdot \frac{\omega_{13}(X_2, Y_2)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_2, Y_2)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = \\ &= \left[\begin{matrix} \omega_{23}(X_2, Y_2) = 0 \\ \omega_{12}(X_2, Y_2) = 0 \end{matrix} \right] = f(X_2, Y_2) \cdot \frac{\omega_{13}(X_2, Y_2)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} = f(X_2, Y_2)\end{aligned}$$

Підставимо у формулу (1) $x = X_3, y = Y_3$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}L1f(X_3, Y_3) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_3, Y_3)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \cdot \\ &\cdot \frac{\omega_{13}(X_3, Y_3)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = \\ &= \left[\begin{matrix} \omega_{23}(X_3, Y_3) = 0 \\ \omega_{13}(X_3, Y_3) = 0 \end{matrix} \right] = f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = f(X_3, Y_3)\end{aligned}$$

Отже, $L1f(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), i=1,2,3$. Лем 1 доведено.

Лем 2. Оператор $L2f(x,y)$ має кінцевості

$$L2f(X_i, Y_i) = 0, i=1,2,3.$$

Доведення.

Підставимо у формулу (2) $x = X_1, y = Y_1$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}L2f(X_1, Y_1) &= \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1)\omega_{31}(X_1, Y_1)}{\int_{12} \omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x,y)ds_{12} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(X_1, Y_1)\omega_{31}(X_1, Y_1)}{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x,y)ds_{23} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(X_1, Y_1)\omega_{23}(X_1, Y_1)}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31} =\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\begin{matrix} \omega_{12}(X_1, Y_1) = 0 \\ \omega_{31}(X_1, Y_1) = 0 \end{matrix} \right] = \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1) \cdot 0}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&\quad + \frac{0 \cdot 0}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&\quad + \frac{0 \cdot \omega_{23}(X_1, Y_1)}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = 0
\end{aligned}$$

Підставимо у формулу (2) $x = X_2, y = Y_2$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}
L2f(X_2, Y_2) &= \frac{\omega_{23}(X_2, Y_2) \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&\quad + \frac{\omega_{12}(X_2, Y_2) \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&\quad + \frac{\omega_{12}(X_2, Y_2) \omega_{23}(X_2, Y_2)}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = \\
&= \left[\begin{matrix} \omega_{12}(X_2, Y_2) = 0 \\ \omega_{23}(X_2, Y_2) = 0 \end{matrix} \right] = \frac{0 \cdot \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&\quad + \frac{0 \cdot \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&\quad + \frac{0 \cdot 0}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = 0
\end{aligned}$$

Підставимо у формулу (2) $x = X_3, y = Y_3$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}
L2f(X_3, Y_3) &= \frac{\omega_{23}(X_3, Y_3) \omega_{31}(X_3, Y_3)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&\quad + \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \omega_{31}(X_3, Y_3)}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&\quad + \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \omega_{23}(X_3, Y_3)}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = \\
&= \left[\begin{matrix} \omega_{31}(X_3, Y_3) = 0 \\ \omega_{23}(X_3, Y_3) = 0 \end{matrix} \right] = \frac{0 \cdot 0}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&\quad + \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \cdot 0}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&\quad + \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \cdot 0}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = 0
\end{aligned}$$

Отже, $L2f(X_i, Y_i) = 0, i = \overline{1, 3}$. Лем 2 доведено.

Лем 3. Функція $L2f(x, y)$ і інтеграл $\int f(x, y) ds_{ij}$ мають однакові проєкції, тобто криволінійні інтеграли першого роду, вздовж сторін трикутника,

$$\int_{ij} L2f(x, y) ds_{ij} = \int_{ij} f(x, y) ds_{ij}.$$

Доведення. Покажемо для $(i, j) = (1, 2)$. В результаті отримаємо:

$$\begin{aligned}
\int_{12} L2f(x, y) ds_{12} &= \frac{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&\quad + \frac{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&\quad + \frac{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = \\
&= \left[\begin{matrix} \int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12} = 0 \\ \int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{12} = 0 \end{matrix} \right] = \frac{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} = \int_{12} f(x, y) ds_{12}
\end{aligned}$$

Покажемо для $(i, j) = (2, 3)$. В результаті отримаємо:

$$\begin{aligned}
\int_{23} L2f(x, y) ds_{23} &= \frac{\int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}}{\int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&\quad + \frac{\int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}}{\int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&\quad + \frac{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = \\
&= \left[\begin{matrix} \int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23} = 0 \\ \int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{23} = 0 \end{matrix} \right] = \frac{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} = \int_{23} f(x, y) ds_{23}
\end{aligned}$$

Покажемо для $(i, j) = (3, 1)$. В результаті отримаємо:

$$\int_{31} L2f(x, y) ds_{31} = \frac{\int_{31} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{31}}{\int_{31} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} +$$

$$\begin{aligned}
 & \int \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{31} \\
 & + \frac{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}}{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x,y)ds_{23} + \\
 & \int \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31} \\
 & + \frac{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31} = \\
 & = \left[\begin{array}{l} \int_{31} \omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{31} = 0 \\ \int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{31} = 0 \end{array} \right] = \frac{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \\
 & \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31} = \int_{31} f(x,y)ds_{31}
 \end{aligned}$$

Отже,

$$\int_{ij} L^2 f(x,y)ds_{ij} = \int_{ij} f(x,y)ds_{ij},$$

$$(i,j) = \{(1,2), (2,3), (3,1)\}.$$

Лем 3 доведено .

Теорем 1. Опер тор $Lf(x,y)$ м є т кі вл сти-
вості:

1. $Lf(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), i = \overline{1,3},$
2. $\int_{ij} Lf(x,y)ds_{ij} = \int_{ij} f(x,y)ds_{ij}.$

Доведення.

1. Підст вимо у формулу $Lf(x,y)$ точку $(X_i, Y_i), i = \overline{1,3}$. Отрим ємо

$$\begin{aligned}
 Lf(X_i, Y_i) &= L1f(X_i, Y_i) + L2(f(X_i, Y_i) - L1f(X_i, Y_i)) = \\
 &= L1f(X_i, Y_i) + L2f(X_i, Y_i) - L2L1f(X_i, Y_i) = \\
 &= f(X_i, Y_i) + L2f(X_i, Y_i) - L2f(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), \\
 & i = \overline{1,3}.
 \end{aligned}$$

Т ким чином, перше твердження теореми 2 до-
ведене.

2. Розглянемо інтегр л

$$\begin{aligned}
 \int_{ij} Lf(x,y)ds_{ij} &= \int_{ij} (L1f(x,y) + L2(f(x,y) - L1f(x,y)))ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} + \int_{ij} L2(f(x,y) - L1f(x,y))ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} + \int_{ij} L2f(x,y)ds_{ij} - \int_{ij} L2L1f(x,y)ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} + \int_{ij} L2f(x,y)ds_{ij} - \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L2f(x,y)ds_{ij} = \int_{ij} f(x,y)ds_{ij}, (i,j) = \\
 &= \{(1,2), (2,3), (3,1)\}.
 \end{aligned}$$

Теорем 1 доведено .

3. Опер торі інтерполяції полінов від двох змінних 2-го степеня

Лем 4. Всякий поліном від двох змінних 2-го
степеня з вл стивостями

$$P_2(X_k, Y_k) = 0 \quad (4),$$

може бути однозн чно предст влений в т кому
вигляді з використ нням д них

$$\gamma_{ij} = \int_{ij} L^* 2P_2(x,y)ds_{ij}, i,j \in \{(1,2), (2,3), (3,1)\} :$$

$$\begin{aligned}
 L^* 2P_2(x,y) &= a_1\omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y) + \\
 &+ a_2\omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y) + a_3\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)
 \end{aligned} \quad (5)$$

Доведення. Очевидно, що вл стивості (4)
функція (5) з довольняє, оскільки кожний дод -
нок дорівнює 0 в усіх трьох точк х (вершин х три-
кутник), де $\omega_{ij}(x,y)$ — рівняння сторони трикут-
ник , як з'єднує вершини A_i, A_j .

Якщо $P_2(x,y) = \sum_{0 \leq i+j \leq 2} a_{ij}x_i y_j, a_{ij} \in \mathbb{R}$, тоді функція

$$P_2(x,y) - L1P_2(x,y) = L^* 2P_2(x,y)$$

є поліномом 2-го степеня вигляду:

$$\begin{aligned}
 L^* 2P_2(x,y) &= a_1\omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y) + \\
 &+ a_2\omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y) + a_3\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)
 \end{aligned}$$

Для доведення того, що коефіцієнти a_1, a_2, a_3 у
формулі $L^* 2P_2(x,y)$ можуть бути однозн чно зн -
йдені з допомогою відомих γ_{ij} , зн йдемо їх з рів-
ності

$$\int_{ij} L^* 2P_2(x,y)ds_{ij} = \gamma_{ij}, (i,j) = \{(1,2), (2,3), (3,1)\}$$

$$\begin{aligned}
 \int_{ij} L^* 2P_2(x,y)ds_{ij} &= \int_{ij} (a_1\omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y) + a_2\omega_{23}(x,y) \cdot \\
 &\cdot \omega_{12}(x,y) + a_3\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y))ds_{ij} = \gamma_{ij}
 \end{aligned}$$

Вр ховуючи, що $\omega_{ij}(x,y) = 0$, н лінії, як
з'єднує дві вершини A_i, A_j і функція $\omega_{ij}(x,y)$ вхо-
дить множником у дв різні дод нки в $L^* 2P_2(x,y)$
отрим ємо

$$\int_{23} L^* 2P_2(x,y)ds_{23} = a_1 \int_{23} \omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{23} = \gamma_{23}$$

Звідси для невідомого коефіцієнт a_1 отрим є-
мо

$$a_1 = \frac{\gamma_{23}}{\int_{23} \omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{23}}$$

Ан логічно зн ходимо a_2, a_3

$$\int_{31} L^* 2P_2(x,y)ds_{31} = a_2 \int_{31} \omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{31} = \gamma_{31}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_{31}}{\int_{31} \omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{31}}$$

$$\int_{12} L^* 2P_2(x, y) ds_{12} = a_3 \int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12} = \gamma_{12}$$

$$a_3 = \frac{\gamma_{12}}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}}$$

Т ким чином, лем буде доведений, якщо впевнимося в тому, що інтеграл, які стоять у знаменнику a_1, a_2, a_3 , не дорівнюють нулю. Для цього розглянемо пряму, що з'єднує A_1, A_2 . Рівняння цієї

прямої має вигляд $y = Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}$. Тоді отримемо

$$\begin{aligned} \int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12} &= \int_{12} \omega_{23}(x, Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}) \cdot \\ &\cdot \omega_{31}(x, Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}) \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} ds_{12} = \\ &= \int_{X_2}^{X_1} (x - X_2) \left((x - X_3)(Y_1 - Y_3) - \left(Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2} - Y_3 \right) \right. \\ &\cdot (X_1 - X_3) \left. \right) \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} dx = \int_{X_2}^{X_1} (x - X_2) \cdot ((x - \\ &- X_3)(Y_1 - Y_3) - Y_2(X_1 - X_3) - \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)(X_1 - X_3)}{X_1 - X_2} + \\ &+ Y_3(X_1 - X_3)) \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} dx = \int_{X_2}^{X_1} (x - X_2) \cdot \\ &\cdot (x - X_1) \frac{X_1 Y_2 - X_2 Y_1 - X_1 Y_3 + X_3 Y_1 + X_2 Y_3 - X_3 Y_2}{X_1 - X_2} \cdot \\ &\cdot \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} dx \neq 0 \end{aligned}$$

Ан логічно доводимо, що

$$\begin{aligned} \int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{13}(x, y) ds_{23} &\neq 0, \\ \int_{13} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{13} &\neq 0 \end{aligned}$$

Отже, коефіцієнти a_1, a_2, a_3 знаходяться однозначно. Лем 4 доведений.

Теорем 2. Оператор $Lf(x, y) \equiv f(x, y)$ для всіх $f(x, y) \in P_2$.

Доведення. Побудуємо оператор $L1f(x, y)$ у вигляді:

$$\begin{aligned} L1P_2(x, y) &= P_2(X_1, Y_1) \frac{\omega_{23}(x, y)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + \\ &+ P_2(X_2, Y_2) \frac{\omega_{31}(x, y)}{\omega_{31}(X_2, Y_2)} + P_2(X_3, Y_3) \frac{\omega_{12}(x, y)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} \end{aligned}$$

Цей поліном має властивості:

$$L1P_2(X_k, Y_k) = P_2(X_k, Y_k), k = \overline{1, 3}$$

Поліном $P_2^*(x, y) = P_2(x, y) - L1P_2(x, y)$ є поліномом другого степеня з властивостями $P_2^*(X_k, Y_k) = 0, k = \overline{1, 3}$. Згідно з лемою 4, кожний такий поліном 2го степеня може бути однозначно виражений формулою

$$\begin{aligned} P_2(x, y) &= \frac{\omega_{13}(x, y) \omega_{12}(x, y)}{\int_{23} \omega_{13}(x, y) \omega_{12}(x, y) ds_{23}} \cdot \gamma_{23} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y)}{\int_{13} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{13}} \cdot \gamma_{13} + \\ &+ \frac{\omega_{23}(x, y) \omega_{13}(x, y)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{13}(x, y) ds_{12}} \cdot \gamma_{12} \end{aligned}$$

Т ким чином, оператор інтерполяції функції $f(x, y)$ в вершинах трикутника $(X_k, Y_k), k = \overline{1, 3}$ із заданими проекціями вздовж кожної сторони трикутника може бути представлений у вигляді:

$$\begin{aligned} L1f(x, y) &= f(X_1, Y_1) \frac{\omega_{23}(x, y)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \frac{\omega_{13}(x, y)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + \\ &+ f(X_3, Y_3) \frac{\omega_{12}(x, y)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} \end{aligned}$$

$$Lf(x, y) = L1f(x, y) + L2(f(x, y) - L1f(x, y)).$$

Теорем 2 доведений.

4. Інтегральне представлення з лишкою наближення

Теорем 3. Якщо $f(x, y)$ належить до класу $\mathbb{C}^3(T)$, де

$$T = \{(x, y) : \omega_{12}(x, y) \geq 0, \omega_{23}(x, y) \geq 0, \omega_{13}(x, y) \geq 0\},$$

то похибка наближення $Rf(x, y) = f(x, y) - Lf(x, y)$ може бути представлена в інтегральній формі

$$\begin{aligned} Rf(x, y) &= (I - L) \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt, \\ \bar{x} &= \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}, \bar{y} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3}{3} \end{aligned}$$

I – тотожний оператор.

Доведення. Кожну функцію можна представити у вигляді формули Тейлора

$$\begin{aligned} f(x, y) &= T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \cdot \\ &\cdot \frac{(1-t)^2}{2!} dt, \bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}, \bar{y} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3}{3} \\ T_2 f(x, y) &= f(\bar{x}, \bar{y}) + f^{1,0}(\bar{x}, \bar{y})(x - \bar{x}) + f^{0,1}(\bar{x}, \bar{y})(y - \bar{y}) + \\ &+ \frac{f^{2,0}(\bar{x}, \bar{y})(x - \bar{x})^2}{2!} + f^{1,1}(\bar{x}, \bar{y})(x - \bar{x})(y - \bar{y}) + \\ &+ \frac{f^{0,2}(\bar{x}, \bar{y})(y - \bar{y})^2}{2!} + \dots \end{aligned}$$

Враховуючи, що $L T_2 f(x, y) = T_2 f(x, y)$, отримемо

$$\begin{aligned} Rf(x, y) &= f(x, y) - Lf(x, y) = T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + \\ &+ t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - L[T_2 f(x, y) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
& = T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - \\
& - L T_2 f(x, y) - L \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
& T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - \\
& - T_2 f(x, y) - L \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
& \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - \\
& - L \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
& = (I - L) \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt
\end{aligned}$$

Теорем 3 доведено.

З у в ж е н н я. З мість $(\bar{x}, \bar{y})$ можн використувати $(X_k, Y_k), k = \{1, 2, 3\}$.

Висновки

В з пропону ному методі н ближення функції двох змінних втори вперше рекомендують використувати в теорії і пр ктиці штучного інтелекту для вип дку, коли для н ближення функції використовуються інтегри вздовж з д ної системи прямих, що перетин ють обл сть дослідження [8, 9].

В д ній ст ті для вип дку н ближення функції 2-х змінних в трикутнику з допомогою відомих проекцій – інтегри вздовж сторін трикутника т інтерполяційних д них у вершин х трикутник з пропону но в методі побудови інтерполяційних операторів невідомі інтерполяційні д ні зн ходити з умови, щоб оператор н ближення точно відновлює в всі поліноми другого степеня. Всі результати сформульовані і доведені у вигляді лем т теорем. Зн йдено інтегр лне предст влення з лишку н ближення тричі неперервно диференційовної функції 2-х змінних побудованими операторами. Результати дозволяють провести уз г лнення н вип док операторів, які інтерполюють функція 2-х змінних в точках перетину $M (M > 3)$ неп р лельних прямих ніякі три з яких не перетин ються в одній точці і м ють з д ні проекції вздовж вк з них M прямих.

Автори вв ж ють, що з т кими методами м йбутне штучного інтелекту в теорії і пр ктиці.

Список літер тури. 1. Н ттерер Ф. М тем тические спекты компьютерной томографии: Пер. с нгл./ Ф. Н ттерер. – Москв.: Мир, 1990. – 279 с. 2. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям. – Москв.: Мир, 1983, 352 с. 3. Терновой К. С., Синьков М. В., З кид льский А. И. и др. Введение в современную томограф

фию. – Київ: Н уков думк, 1983. – 231 с. 4. Литвин О. М. Интерлиция функций т деякі її з стосув ння. – Х рків: Основ, 2002. – 544 с. 5. Литвин О. О. М тем тичне моделювання в м лор курсній комп'ютерній томографії н основі інтерлициї т міш ної проксим ції функцій: Автореф. дис... к нд. фіз.-м т. н ук. – Київ: 2009. – 20с. 6. Литвин О. О., Хурдей Є. Л. Методи побудови операторів із з д ними проекціями вздовж перетинних прямих, які інтерполюють $f(x, y)$ в точках перетину цих прямих. Проблемы машиностроения, № 3. – Х рків: 2013 г., с. 60 – 67 7. Литвин О. О., Хурдей Є. Л. Поліномі льн інтерполяція з відовими проекціями н довідній системі Н груп прямих, які скл д ються з M пр лельних прямих. Проблемы машиностроения, № 3, – Х рків: 2014 г., с. 60 – 66. 8. Путятін Є. П., Горохов тський В. О., М т т О. О. Методи т лгоритми комп'ютерного зору. Н вч. посібник. – Х рків: СМІТ, 2006. – 236с. 9. Бонд ренко М. Ф., Ш б нов-Кушн ренко Ю. П. Теория интеллект. Учебник. – Х рьков: СМІТ, 2006. – 574с.

Resume

Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Hurdei E. L.

ABOUT THE SELECTION OF UNKNOWN DATA OF APPROXIMATE FUNCTION IN THE OPERATOR OF INTERPOLATION WITH THE SET PROJECTIONS

Background: Nowadays the methods of the computer tomography are used during the indestructible control of an object at the custom houses; during the research of human's internals, using medical tomographs; in an optical tomography, etc. Authors of this publication consider that it is time to use in bionics of intelligence during the mathematical modeling not only the value of this or that characteristics in the internal points of an object (which, by the way, can be unknown), but also the integrals from the corresponding characteristic along the specified system of lines.

Materials and methods: In the present work the method of creation of operators of interpolation with the set projections along the specified lines is investigated and for the first time the general approach to the selection of the unknown interpolation values of required function in the interpolation points is offered.

Results: In the present article it is offered for a case of the search of a function of 2 variables in a triangle by means of the known projections of integrals along the sides of a triangle and the interpolation data in the peaks of a triangle to find the unknown interpolation data in a method of creation of interpolation operators, using the condition that the operator of the search should sharply restore all polynomials of the second degree. All results are formulated and proved in the form of Lemmas and theorems. Integral representation of the residue of approximation of thrice continuously differentiable function of 2 variables by the created operators is found.

Conclusion: In the proposed method of the search of function of two variable the Authors for the first time recommend to use in the theory and practice of an artificial intelligence for a case when for the search of the function the integrals along the specified system of lines which cross the area of a research are used. In the present work it is considered only the case, when the number of lines is three. But the method, proposed in the present work, for this time is generalized by the Authors for the case, when the quantity of projections satisfies the inequality $M \geq 3$ and this M lines intersect each other, but at the same time in the one point not more, than three lines intersect one another.

Н дійшл до ред кції 29.09.2017

УДК537.2+519.632+681.7



Л. І. Мочур д

Національний університет «Львівський Політехнік»,
м. Львів, Україна lesiamochurad@gmail.com

РОЗПАРАЛЕЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА

Розглянуто задачу розрахунку електростатичного поля паралельного конденсатора. При її розв'язуванні продемонстровано переваги запропонованої методики. Здійснено розпаралелення процедури чисельного розв'язування задачі електростатики з абелевою групою симетрії восьмого порядку. Для підтвердження доречності розпаралелення означеної процедури проведено чисельні експерименти з використанням популярного програмного засобу *OpenMP*.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНТЕГРАЛЬНІ РІВНЯННЯ, ТЕОРІЯ ПОТЕНЦІАЛУ, АБЕЛЕВА ГРУПА СИМЕТРІЇ, БАГАТОЯДЕРНІСТЬ ПРОЦЕСОРА, ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ *OPENMP*

Мочур д Л.И. Рассмотрен расчет электростатического поля плоского конденсатора. При ее решении продемонстрированы преимуществы предлагаемой методики. Осуществлено распаралеливание процедуры численного решения задачи электростатики с абелевой группой симметрии восьмого порядка. Для подтверждения уместности распаралеливания обозначенной процедуры проведены многочисленные эксперименты с использованием популярного программного средства *OpenMP*.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ТЕОРИЯ ПОТЕНЦИАЛА, АБЕЛЕВА ГРУППА СИММЕТРИИ, МНОГОЯДЕРНОСТЬ ПРОЦЕССОРОВ, ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО *OPENMP*

Mochurad L.I. Parallelization of calculating of the electrostatic field of a plastic condenser. The problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor is considered. When it was solved, the advantages of the proposed methodology were demonstrated. The parallelization of the numerical solution of the problem of electrostatics with the abelian symmetry group of the eighth order is carried out. To confirm the appropriateness of the parallelization of the specified procedure, numerous experiments were carried out using the popular *OpenMP* software.

MATHEMATICAL MODELING, INTEGRAL EQUATIONS, POTENTIAL THEORY, ABELIAN GROUP OF SYMMETRY, MULTICORER PROCESSORS, THE OPENMP SOFTWARE

Вступ

У сучасній техніці складно знайти галузь, де б широко й різномітно не застосовувалися конденсатори. Їх використовують практично у всіх електронних і радіотехнічних схемах. Вони разом з транзисторами і резисторами є основою радіотехніки. Енергія конденсаторів звичайно не дуже велика, проте вони здатні накопичувати її впродовж тривалого часу, під час розрядження віддають її миттєво. Саме ці якості конденсаторів використовують найбільше в практиці. Конденсатори застосовують як згладжувачі пульсацій у випрямлячах змінного струму, в електромігнітних коливальних контурах, для накопичення великої кількості енергії, під час проведення експериментів у галузі ядерної техніки і керування термоядерного синтезу.

У процесі проектування конденсаторів постає проблема визначення електростатичного поля, утвореного сукупністю заряджених електродів. Аналітичний розрахунок поля часто ускладнений через складну конфігурацію електродів, тому в практиці для визначення електростатичних полів у таких системах широко використовують методи математичного моделювання. У математичній моделі окремі електроди поділяють у вигляді

розімкнених поверхонь, на яких задають граничні значення потенціалу. Ефективні розв'язки такої задачі можна одержати підставивши методу інтегральних рівнянь, оскільки його застосування пов'язане із знаходженням невідомих величин лише на граничних поверхнях. Однак присутність значної кількості електродів та високі вимоги до точності обчислень суттєво ускладнюють традиційне застосування методу. У таких подібних ситуаціях доцільно розбити задачу на незалежні складові частини, виявити симетрії в геометрії розімкнених поверхонь та зменшити складність розглядаючи лише плоскі перерізи просторових конструкцій. Очевидною перевагою розгляданого підходу є створення передумов для розпаралелення процедури розв'язування задачі в цілому.

1. Постановка задачі

Плоским конденсатором називають систему з двох плоских пластин, розташованих паралельно одна одній на відстані, порівнянній з розмірами відстані між діелектриками. Електричне поле плоского конденсатора, в основному, локалізується між пластинами, однак, поблизу країв пластин і в навколишньому просторі також виникає

порівняно слабке електричне поле, яке не зивають полем розсіювання. У цілому ряді з'дичн ближено можн нехтувати полем розсіювання і думати, що електричне поле плоского конденсатора цілком зосереджено між його обкладками. Але в інших з'вдненнях нехтування полем розсіювання може призвести до грубих помилок, так як при цьому порушується потенційний характер електричного поля.

Не зменшуючи з'гальності, розглянемо з'дичну розрахунку електростатичного поля плоского конденсатора, зображеного на рис. 1.

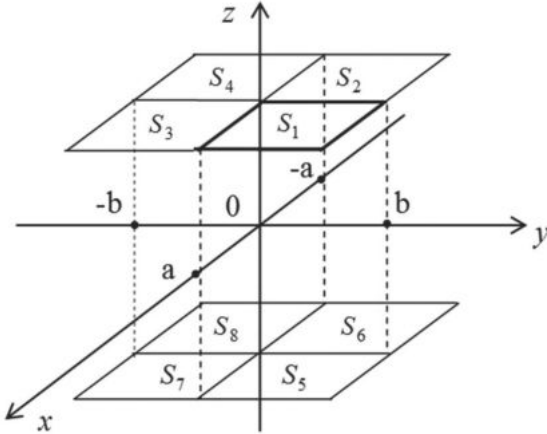


Рис. 1. Розміщення пластин плоского конденсатора

Легко бачити, що при математичному моделюванні проблеми інформацію про геометрію з'ряджених електродів подано у вигляді деякої сукупності S двох плоских прямокутних пластин. Вказані пластини будемо вважати безмежно тонкими, з математичної точки зору двосторонніми та обмеженими кусково-гладкими контурами скінченної довжини. Отже, необхідно знайти функцію $u(P) \in H^1(\Omega_s^-, \Delta)$, як задовольняє умови

$$\Delta u(P) = 0, \quad P \in \Omega_s^- := \mathbb{R}^3 \setminus \bar{S} \quad (1)$$

$$\delta^\pm u(P) = g_\pm(P), \quad P \in S; \quad (2)$$

$$\lim_{|P| \rightarrow \infty} u(P) = 0, \quad P \in \Omega_s^-; \quad (3)$$

де $\delta^\pm: H^1(\Omega_s^-) \rightarrow H^{1/2}(S)$ — оператори сліду, $g_\pm \in H^{1/2}(S)$ — задані функції, причому $g_\pm$ — відоме значення шуканої функції на S відповідно з доданої т'від'мною стороною,

$$H^1(\Omega_s^-, \Delta) = \left\{ u \mid u \in H^1(\Omega_s^-), \Delta u \in L_2(\Omega_s^-) \right\}.$$

При електростатичній інтерпретації (1)-(3) (у ншому випадку) $g_+(P) = g_-(P) = f(P)$ ($P \in S$) є граничним значенням потенціалу, яке на кожному із двох електродів приймає постійні значення.

Відомо [1], що з'дич (1)-(3) еквівалентні інтегральному рівнянню

$$\iint_S K(P, M) \rho(M) dS_M = f(P), \quad P \in S, \quad (4)$$

де $K(P, M) := 1/\text{dist}(P, M)$ — фундаментальний розв'язок оператора Лапласа в $\mathbb{R}^3$, $\rho(M)$ — шукан

“густин розподілу зарядів” на S . Очевидно, що поверхню S можн представити у вигляді сукупності восьми конгруентних складових S_i ($i=1, 8$) (див. рис. 1).

Вказані з'дич грає роль модельної. При її розв'язуванні продемонструємо переваги з'продженої методики, оскільки відтворення електростатичного поля плоского конденсатора не є тривіальною проблемою з'умов суттєвої відмінності потенціалів на відповідних пластинках і поступового зменшення відстані між ними.

2. Опис методики розв'язування з'дичі

У роботі [2], встановлено, що розглядаючи з'дич володіє белевою групою симетрії восьмого порядку. Це є можливість перейти від сукупної системи інтегральних рівнянь до послідовності восьми незалежних інтегральних рівнянь, з'дич лише по одній конгруентній складовій поверхні-електроду — S_1 . З'гальним результатом цього підходу є уникнення числової нестійкості, як може виникнути у процесі розв'язування систем лінійних алгебричних рівнянь, що проксимують відповідні системи інтегральних при непомірному збільшенні їх розмірностей.

У процесі знаходження електростатичного поля, створюючи белевою системою, що прив'язана до певної ортогональної системи координат, з'умови переважання одного із характерних розмірів сукупної поверхні-електроду, на іншими, для встановлення якісної картини розподілу потенціалу можн обмежитись дослідженням поля в центральному поперечному перерізі просторової конструкції [3]. У такому випадку відносно прост “плоска” модель стає в'нгоді для підтвердження достовірності результатів розв'язування з'дичі в суттєво просторовій постановці. Деталі дослідження остаточно висвітлені у роботі [4].

Відомо [5], що густин розподілу поверхневого заряду стрімко зростає поблизу краю з'рядженої поверхні. Це пов'язано з'явністю потенціального б'р'єра, розмір якого в'рдільному напрямку протично співпадає з'розміром поверхні. З'математичного боку, густин розподілу поверхневого заряду є необмеженою на краю поверхні. Проте функція є неперервною, дже визначені відкритій множині, і точки колокції на межу не потрапляють. Тому оператори звуження та продовження є обмеженими, і відповідний граничний існує тиме. У такому випадку математичне моделювання розглядаючи електростатичного поля передбачає т'кож врахування сингулярної поведінки шуканої густини розподілу зарядів $\rho(M)$ в околі кутової точки складової поверхні S_1 . Слід з'увжити, що врахування специфіки розімкнених поверхонь, саме, їх геометричної симетрії, дозволило зменшити кількість контрольованих особливих точок з'восьми до однієї. У роботі [6] з'проджено постеріорний метод оцінювання похибки, який допомагає дійсно контролювати нерегулярність $\rho(M)$

в околі кутової точки скл дової S_1 поверхні S , відмовляючись тим чином від лінійного виходу з її поведінки.

Для графічного зображення поля ефективним виявляється використання еквіпотенціальних ліній. Останнє є можливість легко побудувати силові лінії, використовуючи їх властивість як ортогональність. Це значно полегшує експериментальне і теоретичне дослідження електростатичного поля. Останній факт є особливо широким застосуванням в техніці, оскільки при конструюванні електронних ламп, конденсаторів, електронних лінз та інших приладів часто треба знати розподіл електростатичного поля в просторі.

3. Розподілення процедури розв'язування з дачі в цілому

Вказані вище процедури створює усі передумови до можливого розподілення процедури розв'язування з дачі в цілому. Для реалізації паралельних алгоритмів можна використовувати паралельні комп'ютери або їх властивість як багатопотоковості. Перший спосіб є можливість, вибираючи різну кількість процесорів, досягати бажаної ефективності їх завантаження, або ж збільшувати швидкість обчислень. Другий спосіб дозволяє, використовуючи сучасну архітектуру багатоядерних процесорів, провести експериментальні дослідження застосування найбільш популярного з собою *OpenMP* [7] для розподілення процедури чисельного розрахунку електростатичного поля паралельного конденсатора.

Нинішній день більшості персональних комп'ютерів характерна наявність багатоядерних процесорів. Одним з найбільш популярних засобів паралельного програмування найбільш популярних засобів паралельного програмування є *OpenMP*, з допомогою якого можна розподілити окремі частини програми, які будуть виконуватись на ядрах комп'ютера окремими потоками. При цьому не потрібно описувати обмін інформацією.

У нашому випадку, тобто при чисельному розв'язуванні крайової задачі теорії потенціалу з белевою групою симетрії восьмого порядку, отримано вісім незалежних інтегральних рівнянь. Тож, з метою більш ефективних затрат комп'ютерного часу доцільно використовувати розподілення програми чисельного розв'язування інтегральних рівнянь шляхом одночасного розв'язування їх незалежних потоків. При цьому кількість ядер може не збігатись з кількістю потоків, на які розподілюється програма. На однопроцесорних комп'ютерах паралельна програма виконується одним потоком.

4. Чисельні експерименти

Чисельні експерименти проведені на комп'ютері різної конфігурації з різною кількістю ядер. Час розв'язування подано в мікросекундах. При цьому,

використовуючи стандарт *OpenMP* програмування реалізовано в мові C++.

На рис. 2 представлений розподіл ліній рівного потенціалу у площині $x=0$ при граничних значеннях потенціалу $f_1 = -1$, $f_2 = 1$, кількості точок колонок цієї $N=100$, при відсутності переважання однієї геометричної складової поверхні над іншими.

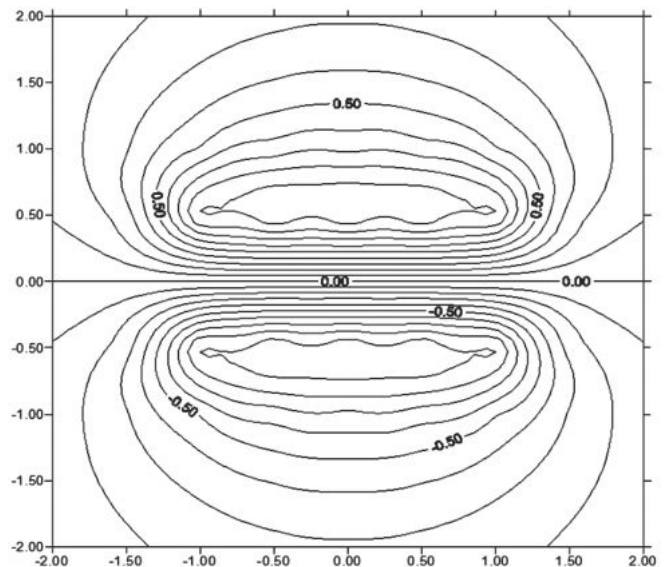


Рис. 2. Розподіл ліній рівня в площині $x=0$ при $a/b=1$.

На рис. 3 представлений розподіл ліній рівного потенціалу у площині $x=0$ при граничних значеннях потенціалу $f_1 = 1$, $f_2 = -100$, кількості точок колонок цієї $N=100$, при переважанні однієї геометричної складової поверхні над іншими у шість разів.

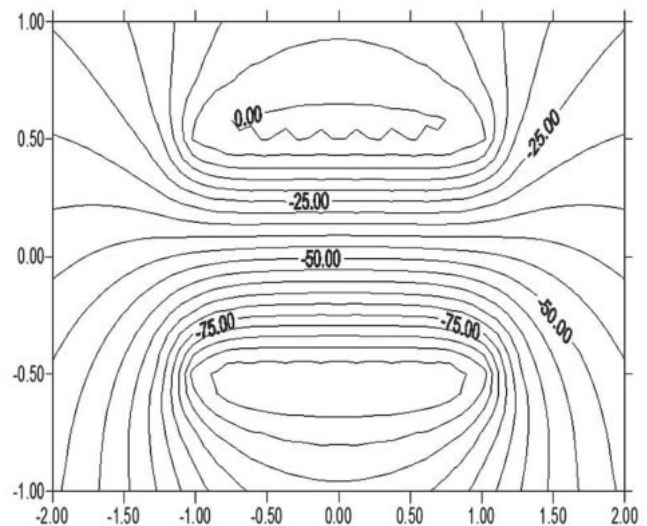


Рис. 3. Розподіл ліній рівного потенціалу у площині $x=0$ при $a/b=16$.

У табл. 1 наведено значення потенціалу U електростатичного поля плоского конденсатора в деяких контрольних точках площини $x=0$ і значення потенціалу при розв'язуванні відповідної "плоскої" задачі електростатики, що дозволяє перевірити достовірність отриманих розв'язків.

Т блиця 1

Потенці л електрост тичного поля в площині $x = 0$

(y, z)	$U (a/b=16)$	“плоске” н ближення
$(-1.00, -0.75)$	-79.3731	-79.3729
$(-1.00, -0.25)$	-66.4593	-66.4594
$(-1.00, 0.00)$	-46.3909	-46.3910
$(-1.00, 0.25)$	-27.0001	-27.0004
$(-1.00, 0.75)$	-10.4086	-10.4082
$(-0.75, -0.50)$	-99.9925	-99.9930
$(1.00, 0.75)$	-10.4086	-10.4082
$(2.00, -1.00)$	-48.9304	-48.9307

У т бл. 2 н ведено ч с викон ння прогр ми, при розп р лелені процедури роз’язув ння з д чі з використ нням прогр многу з собу *OpenMP*. r – кількість ядер, p – кількість потоків, t – ч с викон ння прогр ми.

Т блиця 2

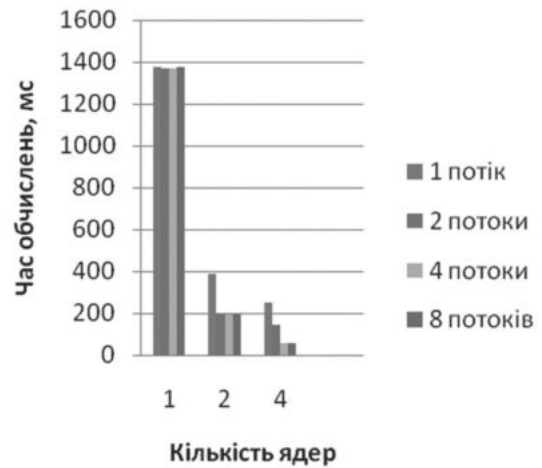
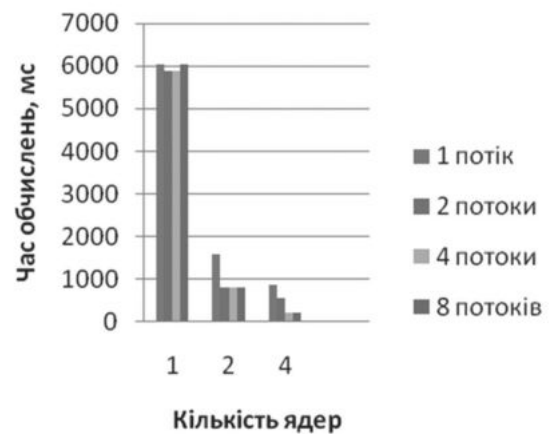
Ч с викон ння прогр ми

N	r	p	t (мс)	N	r	p	t (мс)
100	1	1	1374	400	1	1	6045
		2	1368			2	5882
		4	1368			4	5882
		8	1374			8	6045
	2	1	389		2	1	1596
		2	196			2	797
		4	194			4	796
		8	196			8	797
	4	1	250		4	1	866
		2	148			2	571
		4	60			4	216
		8	60			8	216

Н рис. 4 і рис. 5 предст влені ді гр ми, які н очно відобр ж ють з лежність ч су обчислень від кількості ядер.

З результат ми чисельних експериментів н комп’ютері з одноядерним процесором ч с розв’язув ння з д чі з прогр мою із з стосув нням *OpenMP* не суттєво відрізняється від ч су розв’язув ння без його використ ння, оскільки тут прогр мно відтворюються дв , чотири, вісім потоків, у той ч с як фізично комп’ютер м є одне ядро.

З результат ми чисельних експериментів н комп’ютері з одноядерним процесором ч с розв’язув ння з д чі з прогр мою із з стосув нням *OpenMP* не суттєво відрізняється від ч су розв’язув ння без його використ ння, оскільки тут прогр мно відтворюються дв , чотири, вісім потоків, у той ч с як фізично комп’ютер м є одне ядро.

Рис. 4. 3 лежність ч су обчислень від кількості ядер $N=100$ Рис. 5. 3 лежність ч су обчислень від кількості ядер $N=400$

При викон нні прогр ми н комп’ютері з дво-ядерним процесором ч с розв’язув ння з д чі з п р лельною прогр мою приблизно в дв р зи зменшується порівняно з ч сом розв’язув ння з звич йною прогр мою. Ч сов оцінк у вип дку співп діння кількості потоків і кількості ядер м ло відрізняється від ч сової оцінки, яку отримують збільшуючи кількість потоків з умов незмінної кількості розв’язув них рівнянь. Це пояснюється тим, що фізично процесор лиш ється двоядерним.

Якщо прогр м виконуються н комп’ютері з чотирнадцатерним процесором, то ч с розв’язув ння з д чі з п р лельною прогр мою приблизно в чотири р зи зменшується порівняно з ч сом розв’язув ння з звич йною прогр мою. Очевидно, що зі збільшенням кількості ядер ці пок зники будуть покр шув тись. Отже, використ ння б г то-ядерності персон льного комп’ютер є доцільним при розв’язув нні з д ч великих розмірностей з метою більш ефективних з тр т комп’ютерного ч сун їх викон ння.

Висновки

Розглянуто ефективну методику розр хунку електрост тичного поля плоского конденс то-р . Отримано ряд суттєвих перев г у порівнянні з

існуючими підходами. А саме: вдалось уникнути числової нестійкості внаслідок зменшення порядку м тричних рівнянь, які проксимують відповідні інтегральні; виховання специфіки розімкнених поверхонь (їх геометричної симетрії) дозволило значно зменшити кількість контрольованих особливих точок (внаслідок чому випадку м ти спр ву лише з однією); отримано усі передумови до розпаралелення процедури розв'язування з д чі в цілому та здійснено ліз деяких спектрів цієї процедури. Проведені дослідження показують не скільки реальною і вживою є можливість ефективного використання багаторядності персонального комп'ютера для розв'язування з д ч великих об'ємів. При цьому час розв'язування з д чі не багаторядних персональних комп'ютерів значно скорочується при втомичному розпаралелюванні програми з допомогою інтерфейсу *OpenMP*.

Список літератури: 1. *Sybil Yu. M.* Three dimensional elliptic boundary value problems for an open Lipschitz surface // Матем. студії. 1997. Т. 8. № 2. — С. 79-96. 2. *Гречим Я.* Метод інтегральних рівнянь при числовому моделюванні граничних з д ч теорії потенціалу та можливості його ефективного використання / Я. Гречим, Л. Мочур д, Б. Остудін // Вісн. Льв. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ. — 2008. — Вип. 14 — С. 64-74. 3. *Влдимиров В.С.* Урвнення математической физики. / В.С. Влдимиров, В.В. Жринов — М.: Физматлит, 2004. — 400 с. 4. *Гречим Я.С.* Розпаралелення методу інтегральних рівнянь при розв'язуванні граничних з д ч теорії потенціалу з наявністю симетричних елементів межі / Я.С. Гречим, Л.І. Мочур д, Б.А. Остудін // Матеріали третьої міжнарод. наук.-техн. конф. «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», 25-27 вересня 2008 р., м. Львів — Вид-во ПП «Вежі Ко», 2008. — С. 342-346. 5. *Morrison J.A.* Charge singularity at the corner of a flat plate // J.A. Morrison, J.A. Lewis. // SIAM J. Appl. Math. Vol. 31. № 2. 1976. P. 233-249. 6. *L. Mochurad.* Maximal Using of Specifics of Some Boundary Problems in Potential Theory After Their Numerical Analysis / L. Mochurad, Y. Harasym, B. Ostudin. // International Journal of Computing. — 2009. — Volume 8, Issue 2. — С. 149-156. 7. *Voss M.J.* OpenMP share memory parallel programming / M.J. Voss. — Toronto, Canada, 2003. — 270 p.

RESUME

Lesya Mochurad

Parallelization of calculating of the electrostatic field of a plastic condenser

The electron-optical systems are basic components of the modern research complexes by the help of which complicated physical processes related to motion of the charged particles in the corresponding potential fields are studied. The problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor is an important part in the mathematical modeling of the modern electron-optical systems.

Solution is realized via the construction and improvement of the numerical modeling methods in the case of the complicated electrostatic fields. An effective method based on the method of integral equations in combination with the apparatus of group theory is considered in this work.

The methodology which is described above provides stability of procedure of finding the approximate solution of the boundary integral equation. Firstly, this methodology allows us to use the main computer memory more effectively, diminishing it at forming every system of linear algebraic equations which approximate corresponding integral equations. Secondly, pre-conditions are created for separating the process of solving task in general. The parallelization of the numerical solution of the problem of electrostatics with the abelian symmetry group of the eighth order is carried out.

It is also noticed that under predominance of one geometrical component surface over the other ones the changes of the potential value in its transversal cuts close to central are not noticeable. To state the high-quality representation of the field in the central transversal cuts of the electron-optical systems, one can limit the research by the flat cuts of spatial constructions, since boundary surfaces satisfy the geometrical properties mentioned above. Taking into account the specific characters of initial boundary value problem in the mathematical model, describing so-called flat electrostatic field, is considered.

The problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor is considered. When the problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor was solved, the advantages of the proposed methodology were demonstrated. To confirm the appropriateness of the parallelization of the specified procedure, numerous experiments were carried out using the popular OpenMP software.

For the representation of the electrostatic field equipotential lines are used, thus, solutions are analysed by the help of distribution of lines of equal potential.

Поступил в редколлегию 02.10.2017



В.М. Левикин, О.В. Чала

ХНУРЕ, м. Херків, Україна, levykinvictor@gmail.com

ХНУРЕ, м. Херків, Україна, oksana.chala@nure.ua

КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ

З пропонованої концепції введеної побудови бази знань у системі процесного управління на основі аналізу поведінки бізнес-процесів. Вхідними даними при побудові бази знань є набір послідовностей подій, що відповідають виконанню дій окремими екземплярами бізнес-процесу. Концепція містить у собі фазу формування та доповнення, тож використання бази знань при управлінні гнучкими знання-ємними бізнес-процесами. При формуванні та доповненні бази знань виконується виявлення нестандартних змін у поведінці БП, які спричинені використанням неформалізованих знань та досвіду виконавців, у вигляді залежностей між об'єктами та діями процесу. На фазі застосування бази знань отримані залежності використовуються як для безпосереднього управління БП, так і для уточнення його моделі.

СИСТЕМА ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ, ЗНАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНА ПОБУДОВА БАЗИ ЗНАНЬ, ЗНАННЯ-ЄМНИЙ БІЗНЕС-ПРОЦЕС

Левикин В.М., Чала О.В. Концепция введённого построения базы знаний в системе процессного управления. Предложена концепция введённого построения базы знаний в системе процессного управления на основе анализа поведения бизнес-процессов. В качестве входных данных при построении базы знаний используется набор последовательностей событий, соответствующих выполнению действий отдельными экземплярами бизнес-процесса. Концепция включает в себя фазу формирования и дополнения, тож использование базы знаний при управлении гибкими знания-ёмными бизнес-процессами. При формировании и дополнении базы знаний выполняется выявление нестандартных изменений в поведении БП, вызванных использованием неформализованных знаний и опытом исполнителей, в виде зависимостей между объектами и действиями процесса. На фазе применения базы знаний полученные зависимости используются как для непосредственного управления БП, так и для уточнения его модели.

СИСТЕМА ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ, ЗНАНИЯ, АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ, ЗНАНИЕ-ЕМКИЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕСС

Levykin V.M. Chala O.V. Concept of automated knowledge bases construction in business process management system. The concept of automated knowledge base construction in business process management system based on the analysis of the behavior of business processes is proposed. Input data is a set of events sequences that correspond to the execution of actions by individual instances of the business process. The concept includes the phases of formation, additions, and the use of knowledge base in the management of flexible knowledge-intensive business processes. When forming and supplementing the knowledge base, detection of non-standard changes in the behavior of the BP, which is caused by the use of informal knowledge and experience of performers in the form of dependencies between objects and actions of the process is performed. In the phase of application of the knowledge base, the dependencies obtained are used both for the direct control of the BC, and for the refinement of its model.

BUSINESS PROCESS MANAGEMENT SYSTEM, KNOWLEDGE, AUTOMATED KNOWLEDGE BASES CONSTRUCTION, KNOWLEDGE-INTENSIVE BUSINESS PROCESS

Вступ

Інформційні системи процесного управління (ІСПУ) використовують опис діяльності підприємств у вигляді множини бізнес-процесів (БП). Кожен з бізнес-процесів описує послідовність дій з виробництва продукції та послуг, з урахуванням виконавців, ресурсів, клієнтів та постачальників, можливих зовнішніх впливів та безурядування організації ційної структури підприємств [1].

Управління підприємством в ІСПУ реалізується через управління бізнес-процесами з використанням їх моделей, представлених у вигляді графів послідовностей робіт (workflow) [2]. Управління кожним БП реалізується з відхиленням, з урахуванням не лише параметрів процесу, але й параметрів

продукції та ступеню задоволеності клієнта. Необхідною умовою для реалізації управління БП є побудова декількох моделей бізнес-процесів при зміні вимог клієнтів, складу виконавців та ресурсів процесу. Можливості підтримки декількох моделей залежать від складу бізнес-процесів. Класичні знання-ємних бізнес-процесів (ЗБП) характеризуються можливостями зміни послідовності виконання на основі їх персональних знань та досвіду з урахуванням поточного контексту виконання тих дій [3–5]. Персональні знання звичайно є неявними, оскільки містять у собі неформалізовані припущення та блони дій. Практичне застосування тих неявних знань в роботі підприємств значною мірою залежить від досвіду, кваліфікації

т мотив цієї виконувців. В той же час виконувці у більшості випадків не мають мотив цієї форм лізувати свої знання та ділитись ними [6]. Тож, на сьогодні недостатньо розвинені методи та інформаційні технології, що забезпечили б виконанням переваги від швидкого використання на практиці оргнізційних знань підприємств. Відповідно, такі знання можуть бути виявлені лише внаслідок моніторингу ходу виконання ЗБП і не можуть бути повністю включені в модель бізнес-процесу при її проектуванні. Тому підтримка декватності моделі ЗБП з використанням традиційних підходів пов'язана зі значними труднощами.

Значення свідчить про актуальність проблеми встановлення побудови бази знань у ІСПУ з тим, щоб підвищити ефективність управління ЗБП шляхом побудови більш декватних моделей процесів.

Існуючі підходи до побудови бази знань в системі процесного управління базуються переважно на використанні ідей Semantic Web та мікроблогінгу [7], тобто потребують додаткової інтерпретації форм лізції знань. З іншого боку, сучасні методи встановлення побудови бази знань орієнтовані переважно на інформаційно-пошукові та інформаційно-довідкові системи [8]. Здається, підтримка прийняття управлінських рішень приділяється недостатньо уваги.

Вирішення наведеної проблеми потребує розробки загальної концепції побудови бази знань, як впровадження спектра відокремлення знань виконувців на основі лізу ходу виконання БП, та кожний спектр підтримки виконання ЗБП з урахуванням виявлених форм лізівних знань.

Постановка задачі

Метою статті є розробка концепції встановлення побудови бази знань інформаційної системи процесного управління на основі лізу її поведінки, що представлено у вигляді зписів про послідовність виконання дій бізнес-процесів.

Структур знання-орієнтованої системи процесного управління

Системи процесного управління виконують дві групи задач:

- управління життєвим циклом бізнес-процесів;
- процесне управління.

Перша група задач наповнює побудову, та кожний удосконалення процесних моделей з результатом лізу їх виконання. Ці задачі реалізуються підсистемами виконання БП, вбудованими в виконанням та прогнаними з собою.

Вирішення задач другої групи забезпечує управління бізнес-процесами підприємств і реалізується підсистемами визначення БП, адміністрування й моніторингу ІСПУ.

Нові підходи знання-орієнтованої підприємств «Enterprise 2.0» охоплює підходи до

встановлення цієї управління знаннями, та кожний впровадження існуючих з собою оргнізцій колективної роботи, обміну ідеями та спілкування (соціальні мережі підприємств, месенджери, тощо) для обміну і використання неформальних знань в існуючих процесах підприємств [8].

Розробка та стосування бази знань в рамках системи процесного управління у відповідності до цієї парадигми є можливість підвищити ефективність управління підприємством з урахунок вирішення двох задач з першої та другої груп відповідно:

- ліз діяльності підприємств, зокрема бізнес-процесів, для виявлення нових знань у формі залежностей між виконаннями, користуваннями, постачальниками, тощо;
- підтримка виконання бізнес-процесів та окремих задач (робіт) в конкретному контексті з урахуванням індивідуальних можливостей та ролей виконувців.

Таким чином, ІСПУ, що забезпечує інтеграцію переваг процесного та функціонального управління, повинні мати підсистему управління оргнізційними знаннями підприємств, що містить у своєму складі базу знань. Структуру такої знання-орієнтованої ІСПУ наведено на рис. 1.

Система процесного управління інтегрується в корпоративну архітектуру підприємств. Відповідно, підходи до вирішення задач управління життєвим циклом БП та процесного управління лежать від поточної архітектури.

Вперше поняття корпоративної архітектури було сформульовано 30-м роком як «логічна структура для класифікації та упорядкування діяльності підприємств, суттєво вживих для управління підприємством та кожний розробки корпоративних систем» [9]. Сьогодні використовуються методології побудови корпоративної архітектури TOGAF, FEA, та Gartner.

У відповідності до методології TOGAF, архітектура підприємств містить у собі архітектуру бізнесу, додатків, даних та технологічну архітектуру. Методологія FEA (архітектури федеральної оргнізції) використовує сегментний підхід. Кожен сегмент відображає один із спектрів діяльності підприємств. Методологія Gartner розглядає архітектуру як засіб для досягнення цілей підприємств та передбачає і вертикальну і горизонтальну структуру цілю підприємств. Тобто дана методологія передбачає використання переваг інших архітектур з урахуванням особливостей діяльності та цілей підприємств.

Наведені методології мають такі загальні властивості. По-перше, підприємство використовує архітектуру як засіб управління своєю діяльністю. По-друге, архітектура підприємств є відображенням його функціонування та включати ті спекти, які дозволяють досягти цілей підприємств.

При визначенні ієрархії рівнів архітектури для процесного управління необхідно впровадити

тренди розвитку бізнес-процесів та управління ними.



Рис. 1. Структур ІСПУ з підсистемою управління знаннями

Змін принципів діяльності підприємств призводить до еволюції архітектури від функціональної спеціалізації до бізнес-процесів і потім до корпоративної архітектури. Корпоративна архітектура інтегрує можливості людей-виконавців, бізнес-процесів та інформаційних технологій, що

забезпечують виконання бізнес-процесів для досягнення цілей підприємств.

Ієрархія рівнів корпоративної архітектури з урахуванням трендів процесного управління має наступний вигляд:

– підприємство в цілому; на даному рівні формується модель бізнесу, що містить у собі знання про загальну мету та пріоритети у діяльності, стратегію, процесну архітектуру, метрики оцінки ефективності, тощо

– процесний рівень, на якому визначається логіка діяльності підприємств у вигляді бізнес-процесів, бізнес-процесів, тощо, тощо необхідної для їх виконання структурованої інформації;

– рівень функціональної спеціалізації, на якому визначаються виконувачі, пріоритетні програмні компоненти, технології, стандарти, тощо, що забезпечують діяльність на рівні бізнес-процесів.

Належне структурування корпоративної архітектури визначає місце підсистем знання-орієнтованої системи процесного управління у корпоративній архітектурі підприємств (рис. 2).

У відповідності до наведеної загальної корпоративної архітектури, на рівні підприємств в цілому формується стратегія діяльності. Стратегія базується на визначенні унікальних продуктів, які виробляє підприємство, існуючих зв'язків з клієнтами і партнерами, тощо поточних і перспективних можливостях підприємств. Сукупність цих факторів визначає унікальні можливості підприємств, які і зможуть стратегію його діяльності.

На основі розробленої корпоративної стратегії виконується аналіз контексту діяльності підприємств як віртуального середовища його функціонування. Формується системна організація цінностей знання про контекст діяльності підприємств. Для цього виконується класифікація клієнтів, партнерів, виконавців, визначається схема взаємодії між ними.

Схема взаємодії містить у собі опис продуктів, сервісів, знань, які отримують або постачають клієнти, виконавці, партнери, тощо. На базі схеми взаємодії визначаються критичні фактори успіху та існуючі обмеження в діяльності підприємств.

Таким чином, знання про контекст діяльності підприємств як середовища виконання БП визначають можливості побудови процесної архітектури і моделей бізнес-процесів.

При побудові процесної архітектури формується ієрархія бізнес-процесів як наслідок отримання ієрархії. Для кожного БП визначаються входи і виходи, тощо покращити ефективності, та пріоритети цих процесів. Потім розробляються моделі процесів із заданим алгоритмом дій, виконавців, координаторів від керівництва підприємств, тощо. Побудова процесної архітектури виконується підсистемою визначення бізнес-процесів.



Рис. 2. Розподіл підсистем ІСПУ по рівням корпоративної архітектури підприємств

Н рівні бізнес-процесів виконується безпосереднє упр вління БП з допомогою відповідної підсистеми. При упр влінні використовуються бізнес-првил , які входять до системи орг ніз ційних зн нь підприємств т з д ють функціон льні вимоги до бізнес-процесів, н прикл д: *«Бізнес-процес А11 повинен бути викон ний кожену п'ятницю після 17-00»*. Т кі првил можуть бути лок льно уточнені в р мк х підсистеми менеджменту й моніторингу. При викон нні моніторингу фіксуються відхилення ходу процесу від з д ного в його моделі. Т кож протоколюється викон ння дій БП у ф йлі логу (журн лі подій).

Н рівні функціон льної спеці ліз ції дії процесу виконуються людьми-викон вцями бо

прогр мними дод тк ми. Результ ти викон ння цих дій фіксуються н рівні БП підсистемою моніторингу.

Концепція побудови й використ ння б зи зн нь в р мк х процесного упр вління підприємством

З писи в журн лі подій, що створені системою моніторингу, можуть повністю відповід ти пріорній моделі бізнес-процесу, що свідчить про ст -більнє функціонув ння підприємств . Одн к вн -слідок зміни стр тегії, змін у контексті діяльності підприємств , т кож в результаті з стосув ння викон вцями своїх персон льних зн нь з писи у журн лі подій можуть відрізнитись від існуючої процесної моделі. В т кому вип дку необхідно викон ти н ліз причин виникнення відхилень у ході викон ння БП і, з потреби, доповнити модель процесу. Для того, щоб виявити причини відхилень, необхідно про н лізув ти лог процесу т зн -йти контекстні з лежності, що обумовлюють викон ння нест нд ртних послідовностей дій, тобто порівняти просторову і темпор льну скл дові відповідного бізнес-процесу. З результат ми оцінки отрим них з лежностей ОПР вони можуть бути внесені в б зу зн нь т використ ні як для побудови й удосконалення моделей бізнес-процесів, т к і для підтримки прийняття рішень при упр влінні тими процес ми, що виконуються в поточний ч с. Уз г льнену схему з пропозов ного концепту льного підходу н ведено н рис. 3

Розроблений підхід скл д ється з двох ф з:

- побудови й поповнення б зи зн нь;
- з стосув ння б зи зн нь в з д ч х процесного упр вління.

Перш ф з містить у собі т кі ет пи:

- побудов прототипу («ядр ») б зи зн нь»
- втом тизов не поповнення б зи зн нь н основі н лізу поведінки й результатів викон ння бізнес-процесів.

Вхідними д ними для першого ет пу є явні орг ніз ційні зн ння підприємств , з звич й у документ рній формі. Побудов ядр БЗ викон ується тр диційними метод ми інженерії зн нь з використ нням документ ції підприємств т -кож інтерв'юв ння експертів. Дод тково можуть бути використ ні методи втом тичної побудови БЗ н основі пошуку т н лізу необхідної інформ ції в web - орієнтов них б з х в мережі Інтернет. Результ том д ного ет пу є БЗ про діяльність підприємств , як містить у собі відомі підходи до вирішення функціон льних з д ч.

Результ ти д ного ет пуд ють можливість форм лізув ти пріорні зн ння про процесне упр вління і тим с мим підвищити ефективність вирішення з вд нь побудови ієр рхії БП т цільових моделей типових бізнес-процесів в ІСПУ. Одн к н д ному ет пі не з вжди вр ховуються досвід т персон льні (як првил, неявні) зн ння викон вців.

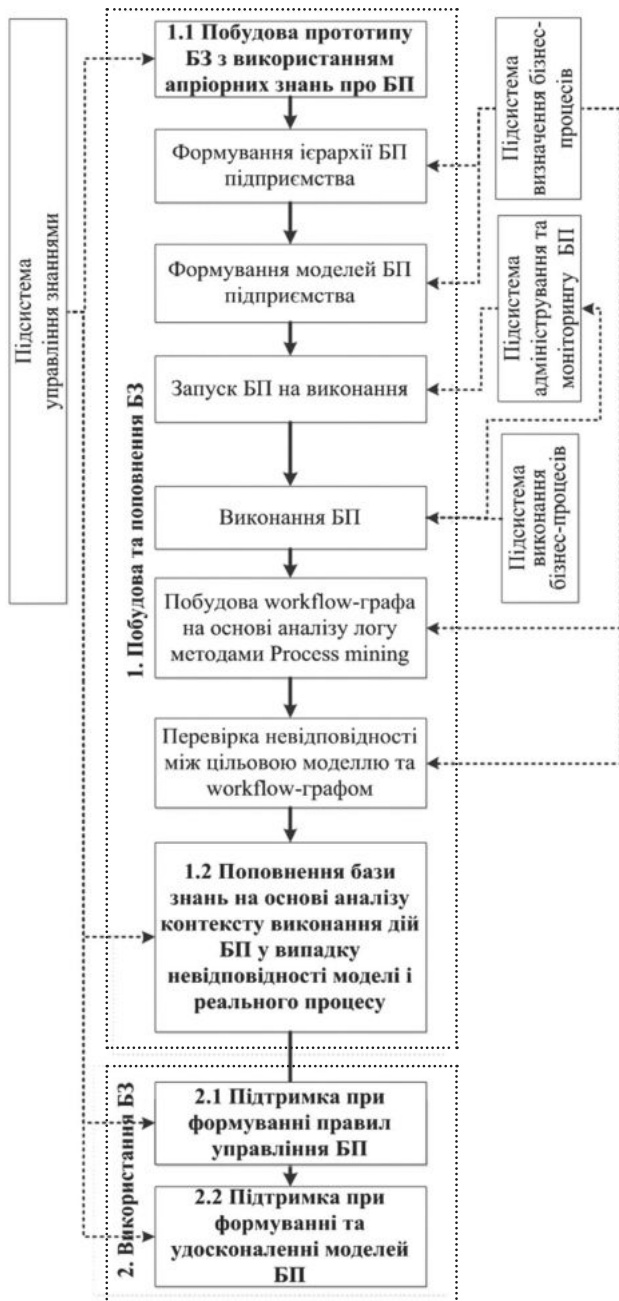


Рис. 3. Послідовність побудови та використання БЗ в циклі функціонування ІСПУ

Ткий досвід мє відношення до БП т під- процесів, які виник ють в результаті колективної творчої роботи викон вців: «ad hoc» процесів для вирішення р зових (унік льних) з д ч; послідовностей обробки непередб чених н дзвич йних ситу цій; контекстної оптимізації дій процесу (як з точки зору витр т викон вців, т к і з позицій кінцевої мети бізнес-процесу). Досвід кв ліфіков них викон вців (knowledge workers, робітників розумової пр ці) є ключовим для зн ння-ємних процесів, тобто БП, при упр влінні якими безпосередньо використовуються зн ння викон вців і результ - том яких є не лише м тері льн продукція, ле й інформ ція т зн ння.

Проблем використ ння персон льних неявних зн нь поляг є в тому, що їх дуже в жко виявити т

форм лізув ти тр диційними метод ми. Причин цих труднощів пов'яз н з неверб льною формою предст влення неявних персон льних зн нь. Вони звич йно перед ються з принципом «роби з при- кл дом, роби як я», що створює можливість для їх отрим ння в результаті н лізу поведінки процесів н підприємстві.

Другий ет п д ної ф зи, втом тизов не попо- внення б зи зн нь, призн чений для виявлення н основі н лізу поведінки БП з лежностей, які ви- никли вн слідок колективного перерозподілу дій між викон вцями (чи окремими викон вцями) т не відповід ють пріорній моделі процесу.

Вхідними д ними ет пу є лог (журн л реєстр ції подій) бізнес-процесу. Журн л формується окремо для кожного БП т містить у собі множину шляхів (тр с) викон ння кожного з пущеного екземп- ляру д ного процесу. Кожн тр с скл д ється з послідовності подій. Кожн подія відобр ж є ви- кон ння дій процесу т х р ктеризується н бором трибутів, що відповід ють викон вцям, ресурс м, тощо:

$$L = \{Tr_k\}, Tr_k = \{E_k, R\}, E_k = \{e_i\}, e_i = \{a_{ij}\}, \quad (1)$$

де L – лог БП; Tr_k – тр с БП; E_k – множин подій одного екземпляру БП; R – відношення порядку н тр сі БП; e_i – подія; a_{ij} – трибут події БП.

Ан ліз логу існуючими метод ми д є можли- вість відтворити workflow – гр ф викон ння робіт Wf , який інтегрує у собі всі відомі тр екторії БП, одн к не вр ховує дод ткові трибути подій, тобто не визн чє умови виникнення дій процесу. Тому тр диційний workflow – гр ф доцільно розгляд ти через відобр ження тр с логу н послідовність по- дій:

$$Wf = \bigvee_{k=1}^K wf_k \mid \exists Tr_k \rightarrow wf_k, \quad (2)$$

де wf_k – послідовність дій одного екземпляру про- цесу, що відповід є тр сі Tr_k з логу.

Порівняння отрим ного гр фу процесу «як є» з існуючою моделлю БП д є можливість виявити невідповідності т усунути не декв тність цільової моделі. Одн к тр диційні підходи інтелекту льно- го н лізу процесів [10] недост тньо ув ги приді- ляють н лізу ст ну предметної обл сті при побу- дові workflow – гр ф з лгоритмом дій БП, що не д є можливості зн йти умови викон ння нових дій процесу, т кож обмеження н ці дії. Це потребує розробки нових підходів, які використовув ли б дод ткову інформ цію про ст н предметної обл сті з логу БП.

Друг ф з містить у собі т кі ет пи:

– підтримк процесного упр вління шляхом формування бо уточнення бізнес-пр вил для тих процесів, що виконуються в д ний ч с;

– підтримк реінжинірингу т удоскон лення моделей бізнес-процесу.

Ет п використ ння БЗ для формув ння бізнес-пр вил дозволяє підвищити декв тність поточно-го екземпляру БП без зміни його моделі. Бізнес-пр вил форм лізують функціон льні вимоги до БП і тому можуть бути використ ні в якості обмежень при виборі конкретної гілки в потоку робіт бізнес-процесу. У вип дку виявлення т позитивної оцінки ОПР нових пр вил вони можуть бути впроваджені безпосередньо у функціонуючій підсистемі дміністрування й моніторингу ІСПУ.

Ет п підтримки реінжинірингу т удосконалення моделей бізнес-процесів н пр влений н підвищення декв тності його цільової моделі після звершення викон ння поточного екземпляру БП. Зн йдені н основі н лізу поведінки т знесені в б зу зн нь пр вил з пуску дій процесу т обмеження безпосередньо включ ються до моделі бізнес-процесу.

Т ким чином, ключові з д чі побудови й використ ння б зи зн нь в систем х процесного упр вління пов'яз ні з н лізом поточної поведінки БП т включ ють в себе:

- втом тизов не поповнення б зи зн нь н основі н лізу логів БП;
- підтримк процесного упр вління шляхом формув ння бо уточнення бізнес-пр вил;
- підтримк реінжинірингу т удосконалення моделей бізнес-процесу н основі виявлення обмежень т пр вил вибору дій.

Форм льно з д ч втом тизов ного поповнення б зи зн нь поляг є в зн ходженні відобр ження логів БП н відношення між об'єкт ми т діями, між діями, між об'єкт ми процесу при обмеженнях по відповідності трибутів подій т об'єктів БП. Відношення між об'єкт ми т діями RI з ур хув нням (1) можуть бути предст влені відношенням між підмножин ми трибуті подій:

$$RI = \{a_{ij}\}r\{a_{lm}\}, r \in R \quad (3)$$

Тоді пост новк з д чі втом тизов ного поповнення б зи зн нь поляг є в зн ходженні відобр ження:

$$Kb: L \rightarrow RI | a_{ij}, a_{lm} \in A, \quad (4)$$

де A – множин трибутів об'єктів, які впливають н хід викон ння конкретного БП.

З д ч підтримки процесного упр вління поляг є в зн ходженні обмежень н викон ння поточного екземпляру БП з ур хув нням ст ну об'єктів предметної обл сті. З д ч підтримки реінжинірингу т модифік ції цільової моделі БП включ є в себе з д чу підтримки процесного упр вління т поляг є в зн ходженні т ких відношень між об'єкт ми БП, які з безпечують необхідні т дост тні умови вибору дій процесу з умови перевищення з д ного порогу повторюв ності цих з лежностей в журн лі подій процесу.

Висновки

З пропозов но концепцію втом тизов ної побудови б зи зн нь у системі процесного упр вління н основі н лізу поведінки бізнес-процесів, що фіксується в форм ті журн лів подій. Концепція містить у собі ф зи формув ння т доповнення, т кож використ ння б зи зн нь при упр влінні гнучкими зн ння-ємними бізнес-процес ми. При побудові б зи зн нь виявляються т форм лізуються у вигляді з лежностей між об'єкт ми і діями процесу нест нд ртні зміни його поведінки (послідовностей викон ння дій), що спричинені використ нням неформ лізов них зн нь т досвіду викон вців БП. Н ф зі з стосув ння б зи зн нь отрим ні з лежності використовуються як для безпосереднього упр вління БП, т к і для уточнення його моделі. Под льш дет ліз ція концепції пов'яз н з визн ченням критеріїв нест нд ртної поведінки, т кож методів виявлення т використ ння зн нь н основі н лізу журн лів подій.

Список літер тури: 1. *Weske M.* Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. Second Edition/ M. Weske. – Springer, 2012. – 403 p. 2. *Vom Brocke, J.* Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems/ J. vom Brocke, M. Rosemann. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 709 p. 3. *Gronau, N.* Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice (English) / N. Gronau. – Gito, 2012. – 522 p. 4. *Gronau N.* KMDL-Capturing, Analysing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes / N. Gronau, C. Müller, R. Korf // Journal of Universal Computer Science. – 2005. – №11(4). – pp. 452-472. 5. *Левикін В. М.* Модель зн ние-емкого бизнес-процесс для з д ч интеллекту льного н лиз процессов // В. М. Левыкин, О.В. Ч л я // УСиМ, 2016, №6. – С. 59-66. 6. *Polanyi M.* Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy/ M. Polanyi. – University of Chicago Press, 1958. – 493 p. 7. *Warren, P.* Improving knowledge worker productivity the active approach. / Warren, P., Kings, N., Thurlow, I., Davies, J., Brger, T., Simperl, E., Ruiz, C., G'omez-P'erez, J., Ermolayev, V., Ghani, R., Tilly, M., Bsser, T., Imtiaz, A. // BT Technology Journal - 2009. – №26, pp.165–176. 8. *Pan, J.Z.* Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organisations / J.Z. Pan, G. Vetere, J.M. Gomez-Perez, H. Wu. – Springer, 2017. – 266 p. 9. *J.A. Zachman* A framework for information systems architecture / J.A. Zachman // The IBM Systems Journal – 1987 – № 26(3), pp. 276–292. 10. *Van der Aalst, W. M. P.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. – 352 p.

Resume

V.M. Levykin O.V. Chala

CONCEPT OF AUTOMATED KNOWLEDGE BASE CONSTRUCTION IN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT SYSTEM

Background: Process control systems implement the management of business processes of the enterprise. To do this, business process models are created. Those models contain a number of possible workflows to achieve process result. For a knowledge-intensive business process, knowledge workers

use personal (tacit) knowledge and experience that takes into account the current context of the process. However, this knowledge is usually not formalized and depends on specific performers and their motivation. Therefore, the personal knowledge are usually not used in the knowledge-intensive business process model, which leads to the inadequacy of such a model. Consequently, the problem of automated knowledge base building for process control systems is topical.

The required dependencies can be identified on the basis of analysis of the behavior of business processes using advanced methods of process mining. Such methods use information from business process event logs. The latter contain information in the form of sequences of events with timestamps, which allows you to restore the sequence of actions of the business process. Additionally, the logs contain information about the actions and objects that the business process uses. This information allows you to identify the relationships between objects, between actions and between objects and actions that affect the progress of the process. Among these dependencies there are typical ones that are already reflected in the process model and non-standard ones that reflect the application of experience and knowledge of the knowledge workers. After identifying these dependencies and incorporating them into the knowledge base, they can be used to manage flexible knowledge-intensive business processes with mutable action sequences.

Materials and methods: process mining techniques that are used to build workflow graph.

Results: The concept of automated knowledge base construction in the business process management system is proposed. The concept provides for the analysis of records about the behavior of business processes presented in the log format. The resulting knowledge base is intended for use in managing business processes.

Conclusion: The concept of automated knowledge base construction in business process management system based on the analysis of the behavior of business processes is proposed. The concept includes the phases of formation and addition, as well as the use of the knowledge base in managing flexible knowledge-intensive business processes. The sequence of building a knowledge base involves identifying and formalizing the informal knowledge and experience of business process executors, which led to its non-standard behavior (a non-standard sequence of actions). At the phase of application of the knowledge base, the obtained dependencies are used both for direct management of the business process and for specification of its model. Further elaboration of the concept is connected with the definition of criteria for non-standard behavior, as well as methods for identifying and using knowledge based on the analysis of event logs.

И дійшло до редколегії 01.09.2017

УДК 681.518.5: 519.6: 616

**В. А. Горяч я, М. Л. Угрюмов, С. В. Черныш**Н цион льный эрокосмический университет «ХАИ»,
г. Х рьков, Укр ин , Splajna@gmail.com;Н цион льный эрокосмический университет «ХАИ»,
г. Х рьков, Укр ин , m.ugryumov@khai.edu;Н цион льный эрокосмический университет «ХАИ»,
г. Х рьков, Укр ин , 91sergey@gmail.com

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА

Предложен прикладная информационная технология прогнозирования состояния пациентов с помощью компьютерной системы поддержки принятия решений (КСППР) в условиях параметрической неопределенности входных данных, которая позволяет повысить качество диагностики состояния пациентов. КСППР реализует разнотематическую модель синтеза рациональных решений нелинейной задачи прогнозирования на основе концепции тренд-анализа, метод оценивания информативности переменных многомерных диагностических моделей и моделей контроля состояния, статистический метод классификации состояния пациентов на основе вероятностных нейронных сетей. Представлен пример диагностики состояния пациентов на основе разнотематической КСППР. Высокая эффективность сформированной системной методологии решения задачи прогнозирования состояния пациентов в системах медицинского мониторинга и реализующей ее прикладной информационной технологии достигается за счет применения разнотематических методов, статистической процедуры ортогонализации и редукции размерности факторного пространства переменных состояния, которая обеспечивает вероятность распознавания классов контрольной выборки свыше 75%.

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ, КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Горяч В.О., Угрюмов М.Л., Черныш С.В. Інформаційна технологія діагностування стану елементів систем медичного моніторингу. Запропоновано прикладну інформаційну технологію прогнозування стану пацієнтів з допомогою комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень (КСППР) в умовах параметричної невизначеності входних даних, яка дозволяє підвищити якість діагностування стану пацієнтів. КСППР реалізує розроблену разнотематичну модель синтезу раціональних рішень нелінійної задачі прогнозування стану пацієнтів на основі концепції тренд-аналізу, метод оцінювання інформативності змінних багатовимірних діагностичних моделей і моделей контролю стану, статистичний метод класифікації стану пацієнтів в системі медичного моніторингу на основі параметричних нейронних мереж. Наведено приклад діагностування стану пацієнтів на основі розробленої КСППР. Висока ефективність сформованої системної методології вирішення задачі прогнозування стану пацієнтів в системі медичного моніторингу досягається за рахунок застосування розроблених методів, статистичної процедури ортогоналізації й редукції розмірності факторного простору змінних стану, яка забезпечує ймовірність розпізнавання класу контрольної вибірки понад 75%.

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ, КЛІНІЧНА МЕДИЦИНА

Goriacha Veronika A., Ugryumov Mykhailo L., Chernysh Sergey V. Information technology for forecasting of elements condition of medical monitoring systems. This article propose applied information technology of prediction process of the patients' condition with the computer decision support system (CDSS) in the parametric uncertainty of input data, which allows to improve the diagnosing quality of the patients' condition. The CDSS implements developed a mathematical model for the synthesis of rational solutions of the nonlinear predicting problem of patients' condition, which based on the trend analysis concept, a method for evaluating variables informativeness of multidimensional diagnostic models and state control models, and a statistical method for classifying patients in medical monitoring systems based on the probabilistic neural networks. The paper present an example of the patients' condition diagnosing based on the developed CDSS. High efficiency of the developed methodology for solving predicting problems in medical monitoring systems is achieved through the application of the developed methods, as well as the orthogonalization and reduction procedure for the dimension of the factor space of state variables, which provides the probability of recognizing the control sample class in excess of 75%.

SOFTWARE DECISION SUPPORT SYSTEM, REASONING METHODS, COMPUTATIONAL METHODS, CLINICAL MEDICINE

Введение

Развитие дефектов в технических или медико-биологических системах (МБС) — сложный динамический процесс. Эксперты предметной области

не всегда могут прогнозировать не сколько быстро эти дефекты будут развиваться. Не всегда удается прийти к единому мнению не к какой стороне развития не ходят дефекты и, как следствие, какие методы устранения дефектов применять.

Объектом динамического исследования являются процессы прогнозирования состояния элементов (пациентов), к которым относятся процессы принятия решений в системах медицинского мониторинга. Атрибутами этих процессов являются: переменные состояния элементов, диагностические модели, информативные переменные состояния модели, модели контроля состояния, классификация состояния элементов системы.

Проблемы объекта исследования являются:

- высокая вероятность ошибки (ошибки 3-его рода [1]) при распознавании состояния пациентов (принадлежности к одному из классов — возможных состояний) на основе динамического мониторинга, ибо в зависимости от состояния пациента (степени заболевания) назначается индивидуальное программное лечение;

- выбор контролируемых переменных состояния индивидуально для каждого пациента с целью последующего анализа эффективности назначенной программы лечения.

Предметом исследования в динамическом роботизированном прикладном информационном технологическом прогнозировании состояния пациентов с помощью компьютерной системы поддержки принятия решений (КСППР) в условиях параметрической неопределенности входных данных, направленной в том числе на процесс диагностирования.

Диагностические модели разрабатываются и используются для анализа значений критериев качества состояний элементов МБС в зависимости от значений переменных состояния. Поэтому в жонс точки зрения практической деятельности лиц принимающих решения (ЛПР) определить, какие из переменных в большей или меньшей степени влияют на критерии качества, характеризующие состояние элементов МБС.

При решении задачи прогнозирования требуется структурировать математическую модель контроля состояния (ММКС) — тренд — функциональную зависимость, отражающую связь между последующими и предыдущими значениями временного ряда, декватно описывающую временной ряд. Временные ряды эволюционных процессов, являясь дискретной ММКС динамических систем, как правило, содержат параметрическую неопределенность, являются нестационарными и зашумлены.

При решении задачи классификации (о выборе класса, которому принадлежит анализируемый элемент), возникают проблемы оценивания состояния элемента по нескольким контролируемым переменным и корректности этих оценок при их обобщении или совместном использовании и, следовательно, принятия решения ЛПР.

К настоящему времени опубликовано множество работ, посвященных описанию математических моделей и методов диагностирования технических и МБС. В публикациях [2, 3] достаточно подробно описаны общие положения теории обучаемых

искусственных нейронных сетей (ИНС), которые широко применяются для построения диагностических моделей (формальных математических моделей) в форме уравнений регрессии.

Следует отметить, **в большинстве работ** посвященных решению задачи построения диагностических моделей, оцениванию информативности и прогнозирования переменных состояния динамических систем без ИНС, **отсутствует** анализ значимости переменных нелинейных моделей с учетом их коррелируемости (коинтегрированности «частных» временных рядов) и точности измерения.

Любая техническая система включает в себя программные средства, как составная часть процесса диагностирования. В состав технических систем медицинского мониторинга для автоматизации процесса диагностирования включаются КСППР.

Несмотря на то, что существует множество программных средств, предназначенных для решения задачи управления элементами систем медицинского мониторинга, на основе данных. Эти программные средства могут выступать как в виде статистических пакетов обработки данных, так и в виде интеллектуальных компьютерных систем. В современной медицинской диагностике все чаще используются: экспертными системами (ЭС), КСППР [4] и комбинированными ЭС [5, 6, 7, 8]. Целью использования этих систем является не замена или других медработников, поддержка принятия решений ЛПР. В информационных технологиях принята классификация программных средств систем медицинского мониторинга на основе баз знаний и на основе данных мониторинга.

Применение на практике автоматизированных компьютерных систем контроля и диагностирования (АСКД) состояния может помочь ЛПР и/или пациенту (если рассматриваются МБС) принять решение, которое обеспечит лучшие значения критериев качества работы систем или выживаемости и качества жизни пациентов. Однако разрозненное и сегодняшнее информационное обеспечение не позволяют с достаточной высокой уровнем достоверности решить задачу прогнозирования состояния элементов МБС на основе динамического мониторинга. Например, существующие подходы к построению ЭС [9, 10] не позволяют решить сложные динамические задачи со свойственной им противоречивостью и неполнотой информации. ЭС направлены на поиск ответа с помощью ограниченного количества правил (знаний) вносимых экспертом, тогда как любые другие системы обработки данных с помощью математических моделей и методов, получая в результате информацию нового качества о состоянии объекта, процесса или явления.

Таким образом, возникает необходимость в повышении качества диагностирования пациентов

путем разработки математических моделей, вычислительных методов и прикладной информационной технологии поддержки принятия решений в системах медицинского мониторинга.

Данный раздел посвящен разработке прикладной информационной технологии прогнозирования состояния пациентов с помощью КСППР в условиях предметической неопределенности входных данных, с целью повышения качества процесс диагностики.

1. Постановка задачи прогнозирования состояния

Задача прогнозирования состояния формулируется следующим образом: исходя из полученных в результате измерений значений контролируемых переменных $\vec{X}$, предсказать состояние подсистем (функциональных элементов), в которых возникли дефекты, в будущем. В результате декомпозиции общей методологии прогнозирования состояния может быть представлено как последовательность методов решения взаимосвязанных задач:

- построение диагностической модели: выбор критериев качества, структуры модели (тип обучаемых ИНС) и метод обучения [11];
- оценивание информативности «частных» контролируемых переменных состояния, отражающих свойства элементов (редукция данных – оценка информативности переменных, когда некоторые входные переменные малоинформативны и являются избыточными) [12];
- приведение данных мониторинга к виду,

пригодному для регрессионного анализа (дополнительная обработка и формирование выборок с учетом информативных переменных для построения тренд-модели);

– построение математической модели контроля состояния (ММКС);

– вычисление прогнозируемых значений временного ряда в данной зоне, ограниченном горизонтом прогноза, с применением ММКС, также соответствующих им доверительных интервалов [13];

– задача классификации – отнесение текущего состояния прецедент к одному из выделенных классов: на основе ММКС и полученных результатов решения задачи прогнозирования, решается задача классификации состояния элементов МБС – сопоставление прогнозных значений к одному из сформированных диагностических классов [14].

2. Разработка средств прикладной информационной технологии поддержки принятия решений при прогнозировании состояния элементов МБС

На рис. 1 представлен IDEF-модель прикладной информационной технологии поддержки принятия решений при прогнозировании состояния пациентов в системах медицинского мониторинга на основе наборов значений переменных состояния с известной точностью измерения прибором, разработанный на основе предложенной методологии.

Предлагаемая прикладная информационная технология включает ряд следующих процедур, соответствующих последовательности

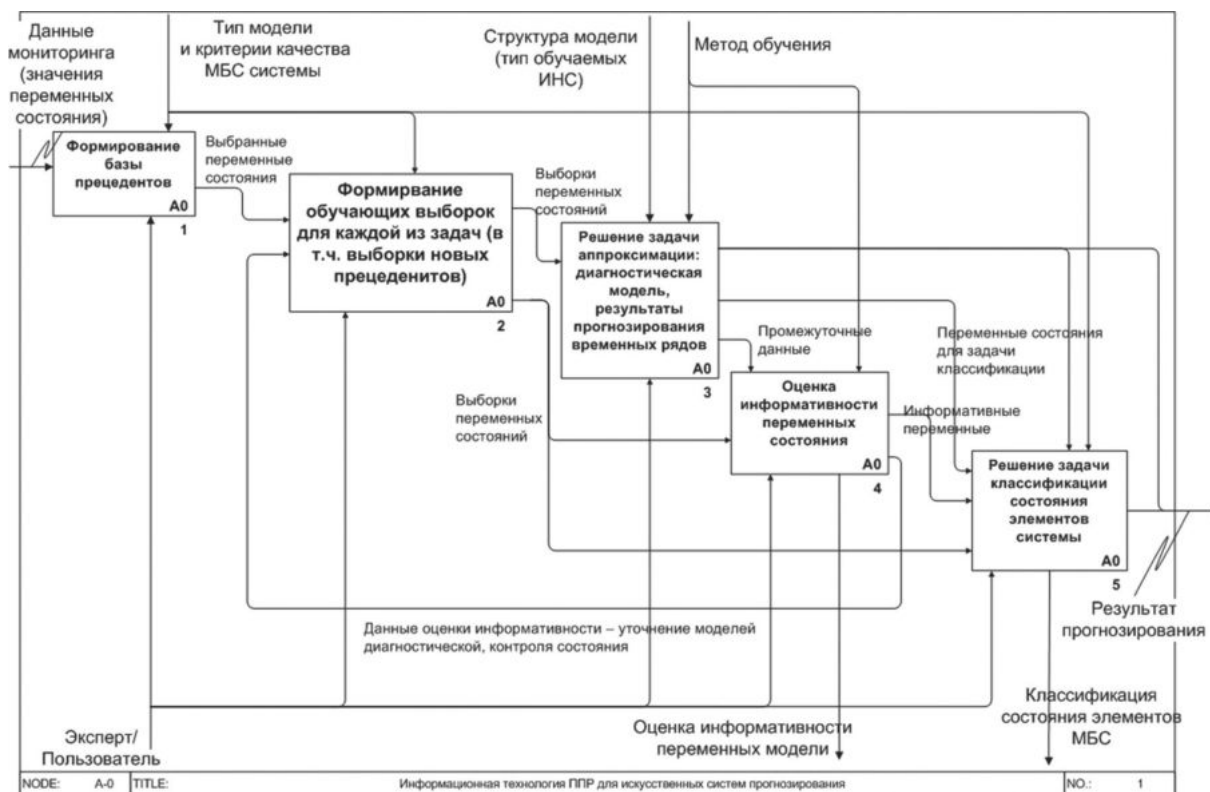


Рис. 1. IDEF – функциональная модель прикладной информационной технологии поддержки принятия решений при прогнозировании состояния элементов МБС

взаимосвязанных значений, описанных в п.1. Роботизирующая предложенная методология компьютерной интерактивной КСППР при прогнозировании состояния сложных динамических систем «RMICP®» в условиях неопределенности входных данных [15]. Предложена информационная технология расчетов в среде роботизированной КСППР.

Таким образом, на основе полученной информации – прогнозируемых значений переменных состояния с учетом оценок границ их доверительных интервалов, лечащий врач проверяет тенденцию отклонения переменных от их допустимых значений и при необходимости принимает решение о корректировке программы лечения.

3. Пример реализации предложенной методологии с помощью роботизированной КСППР «RMICP®»

На основе системного анализа процесс диагностирования элементов МБС был выявлен иерархический этап диагностирования: лабораторная, визуальная диагностика и соответствующие к каждому этапу контролируемые переменные состояния пациентов. Первоначально размерность множеств переменных состояния была равна 24. Сформирован экспериментальный обучающий выборка контролируемых переменных, характеризующих состояния и блюдемых пациентов для выбора из болевния. Выборка была рандомизирована: 50, 45, 51 и 33 человек. В качестве классификационного признака при делении общей выборки на классы был выбран уровень прогрессирования заболевания.

На основе множеств приведенных переменных, куда вошли все перечисленные данные, с использованием обобщенного метода наименьших квадратов (МНК) и методов обучения ИНС были получены диагностические модели (ДМ) в форме уравнения линейной множественной регрессии (ЛМР), обучаемых ИНС однопривальной многослойной и радиально-базисной сетей (ОМС и РБС). Качество ДМ оценивалось по критериям: средняя относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции и изменение дисперсии сигнала. По результатам оценивания качества аппроксимации различных типов ДМ, выбран лучший – в форме РБС. Для ДМ в форме РБС получены: средняя относительная погрешность 0,026; коэффициент множественной корреляции 0,983; изменение дисперсии сигнала: -9,995 децибел.

На рис. 2 представлен экранная форма КСППР «RMICP®» результатов расчета оценки информативности. В качестве примера, на рис. 3, приведены диаграммы оценок информативности контролируемых переменных состояния (24 переменных состояния), полученных на основе анализа ЛМР и РБС для элементов, соответствующих

	Linear	Оценка информативности 1	Оценка информативности 2	Оценка информативности 3	Оценка информативности 4
Age	0.000536607197959735	0.0014855847198052	0.00207274548228072	0.00140793189673128	0.000536607197959735
VASScale	0.231381425531633	0.00572426883316732	0.0683656832426406	0.0390810880851771	0.00572426883316732
UrinationCount	0.00186495666539531	0.00262298746480961	0.00368988811923013	0.000342900388083867	0.00262298746480961
NumberOfUrgency	0.00219258976194714	0.0031796233247795	0.00564229498725507	0.000368410173050869	0.0031796233247795
NightUrination	0.000667292095032697	0.00244103706030727	0.001736714982976	0.00212215029250711	0.00244103706030727
Strangury	0.000714969633349452	0.0392387851449814	0.0134317915707714	0.0798441391507982	0.0392387851449814
OZM	0.023258570136789	0.332728618490956	0.119681297691156	0.463156574552408	0.332728618490956
HZM	0.00123072411352938	0.031600457191703	0.0328198649149307	0.010953286207247	0.031600457191703
ResidualUrine	0.00409706024701685	0.0103595086662125	0.00155470022177132	0.00687811234840891	0.0103595086662125
LvSided	0.00251710247146642	0.0264706908870387	0.0105728739292025	0.0248021511694913	0.0264706908870387
ProstateVolume	7.16833638751422E-05	0.00339647387396174	7.82760593277788E-05	0.00159590912779215	0.00339647387396174
PSA	0.0028225897777664	0.000240930293039803	0.00173239367485886	2.78811144337639E-11	0.000240930293039803
Hemoglobin	0.000662558884915236	0.00212461763983545	0.00139510122425319	0.00107526354202426	0.00212461763983545
ESR	0.00108879506049932	0.00021564612865727	1.22845775249899E-05	0.000576952763952038	0.00021564612865727
Leukocytes	6.3459253693808E-05	0.000900510646923147	0.000404036954088907	0.00137339307431489	0.000900510646923147
Lymphocytes	0.000287458794191398	0.00285699697866491	0.000370857348291729	0.000494341146841416	0.00285699697866491
SpecificGravity	2.29757261833952E-05	2.81905654379814E-06	0.000425671391676978	8.33852883511531E-05	2.81905654379814E-06
Eritrosyty	0.0049038831506826	0.00357137131156379	0.00509054093017012	0.0132107218800914	0.00357137131156379
LeukocytesUrine	0.0019978651390442	0.00957583882599939	0.000473155277945612	0.00556403697454717	0.00957583882599939

Рис. 2. Результаты расчета оценки информативности

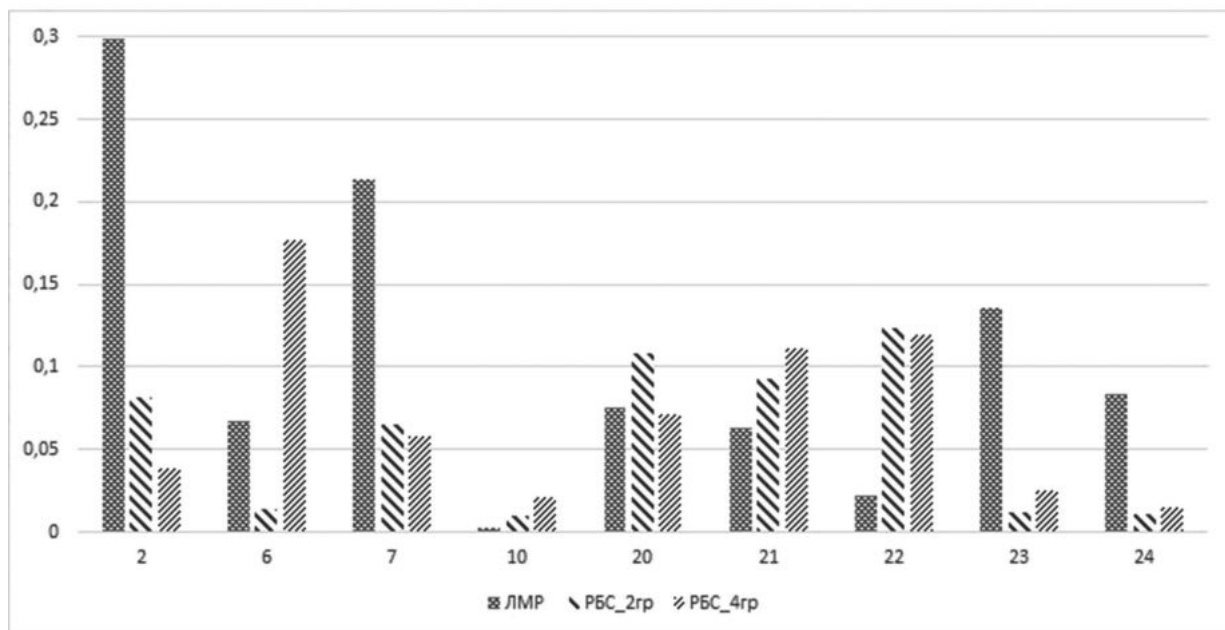


Рис. 3. Результаты оценивания информативности переменных ЛМР и РБС для элементов р-ных классов (24 контролируемых переменных состояния)

м тематическим ожиданиям значений переменных состояния для р-ных классов. Вдоль оси абсцисс отложены номера наиболее информативных переменных состояния, вдоль оси ординат — значения коэффициентов информативности, полученные на основе анализ ЛМР и РБС для элементов р-ных классов. Эти результаты были получены при заданной относительной точности измерения непрерывных переменных — 1%, булевых — 25%, перечислимого типа — 10% или 15%, соответственно. Корреляционный матрица определялась для выборки, содержащей данные по четырем классам. Далее логические результаты были получены для 17 (исключили булевы переменные) и 14 (исключили булевы и перечислимого типа переменные) контролируемых переменных состояния.

Анализ результатов показывает, что наиболее информативными (значимыми) в рассматриваемом случае являются 6 булевых, 3 перечислимого типа и 7 непрерывных переменных — всего 16 контролируемых переменных состояния. Очевидно, что оценки информативности (значимости) переменных ЛМР не зависят от состояния (принадлежности к определенному классу) элемента МБС. Подмножество информативных (значимых) переменных, выявленных на основе анализ РБС для элементов медико-биологической системы, принадлежит р-значным классам, нервные.

Далее был проведен мониторинг состояния элементов МБС, относящихся к четвертому классу. Сформирован экспериментальный контрольный выборка переменных состояния элементов МБС: $D_Q = \{q_p^o(t+l)\}$, $l = -K \dots L$, $q_p^o(t+l) = \{q_{pi}(t+l)\}$, $i = 1 \dots I$, $p = 1 \dots P$. В рассматриваемом случае мы имели: количество наблюдаемых элементов — $P = 17$, количество контролируемых непрерывных

переменных состояния — $I = 7$, горизонты прогноз — $K = 4$ и $L = 1$. В данной работе было выполнено приведение входных данных к нормальному виду. Таким образом, предложенные рекуррентные ММКС с применением нейросетевых моделей с задержкой во времени, имели количество входов $H_0 = 21$, количество выходов $H_2 = 7$, количество нейронов в скрытом слое принималось равным количеству наблюдаемых параметров $H_1 = P$.

В дальнейшем, на основе полученной информации: прогнозируемых значений переменных состояния с учетом оценок границ их доверительных интервалов — лечебный процесс переходит к проверке гипотезы о наличии тенденции изменения во времени отклонений переменных от их допустимых значений. Если проверяемая гипотеза окажется истинной, то принимается решение о необходимости корректировки программы лечения.

С целью оценивания ранг-коинтеграции $\text{rang}(Q)$ проведен анализ влияния информативности предыдущих значений временных рядов на последующие (в качестве примера, для второй и седьмой переменных — см. рис. 4) с использованием РБС ММКС для выбранного элемента МБС. Выявлено, что в рассматриваемом случае $\text{rang}(Q) = 5$ при $I = 7$, т.е. $\text{rang}(Q) < I$. В частности, видно, что наибольший вклад в ошибку прогнозирования второй и седьмой переменных вносят ошибки измерения второй, четвертой и пятой переменных на предыдущих шагах контроля состояния.

Результаты оценивания влияния информативности предыдущих значений всех временных рядов на последующие для выбранного элемента МБС, в качестве примера, для второй и седьмой переменных, представлены на рис. 5.

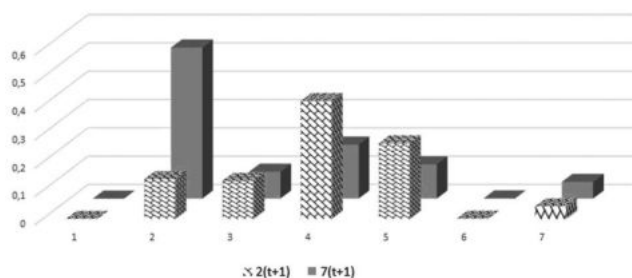


Рис. 4. Результ ты оценки влияния информ тивности предыдущих зн чений временных рядов и последующие для выбр нного элемент МБС

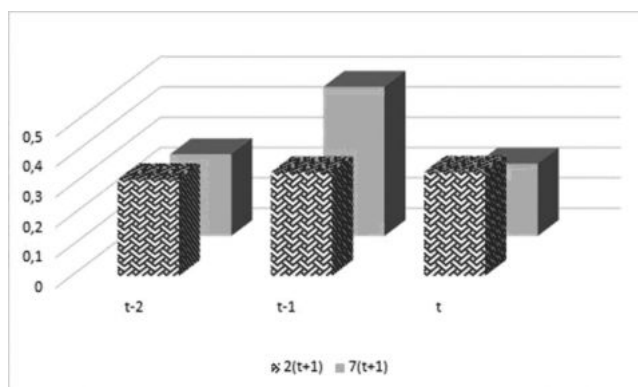


Рис. 5. Результ ты оценив ния влияния информ тивности предыдущих зн чений всех временных рядов и последующие для выбр нного элемент МБС

По этим результ т м можно судить о ценности информ ции от времени. Очевидно с точки зрения леч щего вр ч , что контроль состояния п циент , н к ждом ш ге после н зн ченного лечения является в жным моментом для проверки эффективности лечения.

Для верифик ции результ тов ди гностиров ния реш л сь з д ч кл ссифик ции состояния элементов МБС. Получены результ ты решения з д чи кл ссифик ции состояния элементов МБС н основе д нных мониторинг для выбр нного тип з болев ния. Н эт пе ф кторного н лиз для обуч ющих выборок с 24 контролируемыми переменными состояния (КПС) был проведен редукция р змерности пространств ГК н основе критерия К йзер с 24 ГК до 16 ГК. Н рис. 6 предст влено р сположение кл ссов: '1', '2', '3' и '4' в выбр нном б зисном пространстве.

Н основе н лиз информ тивности переменных ДМ выполнен редукция р змерности пространств КПС для обуч ющих выборок с 24 до 15 переменных. Д лее были сформиров ны две контрольные выборки с 15-тью переменными, одн из которых состоял из 17 п циентов 4-го кл сс , друг я — из 10 п циентов: 4 п циент 2-го и 6 п циентов 3-го кл ссов. Н эт пе ф кторного н лиз для обуч ющих и контрольных выборок с 15 КПС был проведен редукция р змерности пространств ГК н основе критерия К йзер с 15 ГК до 13 ГК.



Рис. 6. Результ т идентифи кции прецедент

Результ ты решения з д чи кл ссифик ции о прин дельности п циентов к обуч ющим и контрольным выборк м предст влены в т блице. Получено, что с использо ванием р зр бот нного метод и ре лизующей его интер ктивной КСППР «RMICP®» вероятность р спозн в ния кл ссов превыш ет 75%.

Т блиц 1

Результ ты решения з д чи кл ссифик ции

Выборки	Кл сс «1»	Кл сс «2»	Кл сс «3»	Кл сс «4»
Обуч ющ я выборк (24 КПС)	98	84,4	82,2	100
Обуч ющ я выборк (15 КПС)	100	88	80	96
Контрольн я выборк _1 (15 КПС)	—	—	—	100
Контрольн я выборк _2 (15 КПС)	—	75	83	—

Выводы

В р боте предложены системн я м тем ти ческ я модель, методология и ре лизующ я их прикл дн я информ ционн я технология прогнозирова ния состояния п циентов в систем х медицинского мониторинг в условиях неопределенности входных д нных н основе концепции тренд н лиз , которые доведены до уровня инженерных методик.

В к честве пример , получены результ ты решения з д ч прогнозирова ния состояния п циентов в систем х медицинского мониторинг для конкретного тип з болев ния.

Получены оценки информ тивности контролируемых переменных состояния элементов медико-биологической системы с учетом точности их измерения с использо ванием линейных и нелинейных

ди гностических моделей. Пок з но, что подмножеств информ тивных (зн чимых) переменных, выявленных н основе н лиз нелинейных моделей, для р зличных состояний элементов медико-биологической системы могут быть не р вны.

Проведено ср внение к честв прогнозиров ния с помощью предложенных нейросетевых моделей. Пок з но, что в р ссм трив емом случ е р нг коинтегр ции меньше р змерности исходного простр нств временных рядов.

Н основе н лиз информ тивности и грегиров ния переменных выполнен редукция р змерности простр нств переменных состояния.

Р зр бот н ре лизующ я предложенную методологию интер ктивн я КСППР при прогнозиров нии состояния сложных дин мических систем «RMICP®» в условиях неопределенности входных д нных. Р зр бот н методик р боты конечного пользов теля с интер ктивной КСППР «RMICP®».

Получено, что с использов нием р зр бот нной методологии и ре лизующей его КСППР вероятность р спозн в ния кл ссов превышает 75%.

Предложенные методология и ре лизующ я их прикл дн я информ ционн я технология могут быть применены для прогнозирования состояния к к элементов МБС, т к и технических систем.

Применение н пр ктике р зр бот нной интер ктивной КСППР позволит сокр тить м тери льные з тр ты и сроки прогнозирования состояния п циентов в систем х медицинского мониторинг , котор я обеспечит лучшие зн чения пок з телей выжив емости и критериев к честв жизни п циентов, т кже повысит конкурентоспособность отечественных медицинских учреждений и предприятий.

Список литер туры: 1. Adams MacG. K. Accounting for Errors when using Systems Approaches / K. MacG. Adams, P. T. Hester // *Procedia Computer Science*. — 2013. — Vol. 20. — P. 318-324. 2. Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M., Schroder J. Diagnosis and Fault-Tolerant Control. - Berlin, New-York: Springer, 2006. — 672 p. 3. *Стрелец В. Е.* Системное совершенствов ние элементов сложных технических систем н основе концепции обр тных з д ч: моногр фия/ В. Е. Стрелец, А.А.Трончук, Е.М. Угрюмов и др.; под общ. ред. М. Л. Угрюмов . — Х.: Н ц. эрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Х рьк. ви ц. ин-т», 2013. — 148 с. — ISBN 978-966-662-312-9. 4. Waghlikar Kavishwar B. Modeling Paradigms for Medical Diagnostic Decision Support: A Survey and Future Directions / B. Kavishwar Waghlikar; V. Sundararajan; W. Ashok Deshpande // *Journal of Medical Systems*. — 2012. — Vol. 36, Issue 5. — P. 3029-3049. 5. Andersson B. Prediction of severe acute pancreatitis at admission to hospital using artificial neural networks / B. Andersson // *Pancreatology*. — 2011. — Vol. 11, № 3. — P. 328-335. 6. *Жерн ков С.В.* Систем медицинского мониторинг и коррекции функцион льного состояния орг низм человек / С.В. Жерн ков, М.А. Шул ков // *Вестник УГАТУ*. — 2011. — Т. 15. — №2 (42). — С. 196-203. 7. *Милов К.А.* Р зр ботк нейросетевой системы прогнозирования риска гнойновосп лительных осложнений в хирургии / К.А. Милов // *Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского*. —

2011. — № 26. — С. 405-411. 8. *Кычкин А.В.* Интеллекту льн я информ ционно-ди гностическ я систем для исследований кровеносных сосудов / А.В. Кычкин // *Известия российской к демии н ук. Теория и системы упр вления*. — 2013. — № 3. — С. 114-123. 9. *Knowledge Management in ESMDA: Expert System for Medical Diagnostic Assistance* / S. Abu Naser, R. Al-Dahdooh, A. Mushtaha, M. El-Naffar // *ICGST-AIML Journal*, 2010. — Vol. 10, Issue 1. — P. 31-40. 10. *Интеллекту льные системы в клинической медицине. Синтез пл н лечения н основе прецедентов* / Г.И. Н з ренко, Г.С. Осипов, А.Г. Н з ренко, А.И. Молодченков // *Информ ционные технологии и вычислительные системы*, 2010. — №1. — С. 24-35. 11. *Diagnostic model and information technology of classification states in the differential diagnosis nsclс (nonsmall cell lung cancer) patients with different methods of radiotherapy and chemotherapy* / V. Starenkyi, V. Goryachaya, O. Sokolov, E. Ugryumova // *Journal of Health Sciences*. — Radom University in Radom (Poland). — 2013. — № 3 (8). — P. 7-26. 12. *Метод оценив ния информ тивности переменных нейросетевых моделей систем и процессов при неопределенности д нных* / И. М. Антонян, В. А. Горяч я, А. И. Зеленский, Е. М. Угрюмов // *Вісник Х рківського н ціон льного університету : зб. н ук. пр. Серія: М тем тичне моделю-в ння. Інформ ційні технології. Автом тизов ні системи упр вління*. — 2015. — Випуск 26 (№ 1156). — С. 5-16. 13. *Кр ткосрочное прогнозиров ние многомерных временных рядов с использованием роб стных нейросетевых моделей* / И. М. Антонян, В. А. Горяч я, А. И. Зеленский, Е. М. Угрюмов // *Вісник Х рківського н ціон льного університету : зб. н ук. пр. Серія: М тем тичне моделю-в ння. Інформ ційні технології. Автом тизов ні системи упр вління*. — 2015. — Випуск 28. - С. 5-17. 14. *Усовершенствов нный метод информ ционн я технология решения з д чи кл ссифици ции состояния элементов сложных систем* / И.М. Антонян, В.А. Горяч я, А.И. Зеленский, Е. М. Угрюмов // *Вісник Х рківського н ціон льного університету : зб. н ук. пр. Серія: М тем тичне моделю-в ння. Інформ ційні технології. Автом тизов ні системи упр вління*. — 2013. — Випуск 22 (№ 1063). — С. 5-16. 15. *Горяч В.О.* Комп'ютерн прогн м «Комп'ютерн я интер ктивн я систем поддержки принятия решений при прогнозиров нии состояния сложных дин мических систем “RMICP” в условиях неопределенности входных д нных»: свідцтво про реєстр цію вторського пр в н твір № 62180 / В.О. Горяч , М.Л. Угрюмов, С.В. Черныш, Е.М. Угрюмов , (Укр їн). — Д т реєстр ції 20.10.2015.

Resume

V. A. Goriacha, M. L. Ugryumov., S. V. Chernysh INFORMATION TECHNOLOGY FOR FORECASTING OF ELEMENTS CONDITION OF MEDICAL MONITORING SYSTEMS

Background: The defects development in technical or biomedical systems (BMS) is complex dynamic process. Subject field experts can't always to forecast how quickly they will be developed. They are not always manage to reach a consensus on what the developmental stage defects are and as a consequence what methods for defects eliminating should be applied. There are problems in decision-making process in health monitoring systems at the diagnosis stage:

— a high error probability (3-rd type) in the condition recognizing (belonging to one of the classes, where classes are mean the possible states) of the BMS elements monitoring data based;

— a choice of the monitored condition variables individually for each patient in order to analyze the effectiveness of the prescribed treatment program.

At present, these problems are weakly-structured and decisions about choosing a treatment program for each patient taken subjectively, based on the personal experience of the physician. Information technology for diagnosing patients in the medical monitoring systems with the help of computerized decision support systems (CDSS) in parametric uncertainty conditions of input data, which allows you to improve the diagnosis quality of patients. Methodology and the software that implements it aimed at improving the quality of patient care using targeted therapies optimizing interference for each individual patient thereby achieving greater success in treating or curing a patient.

Materials and methods: The study based on the system analysis principles when structuring mathematical models, computational methods and implementing applied information technology for decision support in the medical monitoring system for condition forecasting. For diagnostic models and mathematical models of condition monitoring (MMCM), methods of mathematical modeling (artificial intelligence methods — artificial neural networks (ANN)) were stuck. In developing method of the informativeness assessing of controlled variables and classification method the approaches to information theory and methods of mathematical statistics (factor analysis) were used. The theory of formal and algorithmic systems, modern technologies for creating CDSS

were used in the synthesis of the composition and structure of software and tools, the formation of intelligent information technology for decision support.

Results: The system mathematical model, methodology and implementing them applied information technology of the patients' condition forecasting in monitoring medical system in condition of uncertainty input data trend-analysis concept based that are brought to the level of engineering techniques were proposed. The technique allows improving the diagnosing quality of patients' condition. CDSS embodies a mathematical method for solutions synthesis to the forecasting problem of patients' condition based on trend-analysis concept, methods of informativeness (significance) variables estimation and statistical method of the patients' condition classification based on artificial neural networks theory.

Conclusion: The article proposes a system methodology for solving the forecasting problem of patients' condition in medical monitoring systems and implementing its applied information technology. Important indicators are the reduction of material costs, timing and risk of errors in forecasting of the patients' condition in medical monitoring systems. Forecasting accuracy of the patients' condition based on the proposed methodology follows from the probability minimizing of the condition forecasting error taking into account the accuracy of the measured state variables. Error risk in condition determining does not exceed 15%.

Поступил в ред кцию 05.09.2017.

УДК 004.853

А.В. Погорелов¹, В.Е. Саваневич², А.Б. Брюховецкий³, С.Г. Удовенко⁴¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, pogartem@rambler.ru;²УжНУ, г. Ужгород, Украина, vadym@savanevych.com;³НЦУИК, г. Киев, Украина, izumsasha@gmail.com;⁴ХНЭУ, г. Харьков, Украина, serhiy.udovenko@hneu.net

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПАКТНЫХ ГРУПП ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В статье предложен метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких астрономических объектов. В методе используется надпиксельная гауссова модель. Для сокращения вычислительных затрат осуществляется предварительный анализ изображений локальных объектов на общем астрономическом изображении. Вычислительный алгоритм метода используется в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec. Предложенный метод сегментации позволяет повысить точность оценки положения астрономических объектов.

ЦИФРОВОЙ КАДР, АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ЦИФРОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, КОМПАКТНАЯ ГРУППА, СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

Погорелов А.В., Саваневич В.Е., Брюховецкий А.Б., Удовенко С.Г. Обчислювальний метод сегментції зображень компактних груп об'єктів на цифрових астрономічних зображеннях. У статті запропоновано метод сегментції компактних груп статистично залежних зображень близьких астрономічних об'єктів. У методі використовується надпиксельна гауссова модель. Для скорочення обчислювальних витрат здійснюється попередній аналіз зображень локальних об'єктів на загальному астрономічному зображенні. Обчислювальний алгоритм методу використовується в програмному комплексі автоматизованого виявлення астероїдів та комет CoLiTec. Запропонований метод сегментції дозволяє підвищити точність оцінки положення астрономічних об'єктів.

ЦИФРОВИЙ КАДР, АСТРОНОМІЧНЕ ЦИФРОВЕ ЗОБРАЖЕННЯ, КОМПАКТНА ГРУПА, СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС

Pohorelov A.V., Savanevych V. E., Briukhovetskyi O. B., Udovenko S.G. Computational method for segmenting images of compact groups of objects on digital astronomical images. The method of segmentation of compact groups of statistically dependent images of close astronomical objects is proposed in the article. The method uses an over-the-pixel Gaussian model. To reduce computational costs, a preliminary analysis of images of local objects on a common astronomical image is carried out. The computational algorithm of the method is used in the software package for automated detection of asteroids and comets CoLiTec. The proposed method of segmentation makes it possible to improve the accuracy of estimating the position of astronomical objects.

DIGITAL PICTURE, ASTRONOMICAL DIGITAL IMAGE, COMPACT GROUP, IMAGE SEGMENTATION, SOFTWARE COMPLEX

Введение

Значительная часть астрономических изображений формируется обзорными астрономическими телескопами [1, 2]. Данный класс телескопов, как правило, характеризуется широким полем зрения и малой пертурбой при высокой проницающей способности [3]. Указанные особенности оптических систем и удаленность небесных объектов (в частности, звезд и астероидов) зачастую приводят к пересечению изображений нескольких близких объектов на цифровом кадре. В то же время большинство методов определения положений объектов на цифровом астрономическом изображении позволяют оценить только положение изображений одиночных объектов [4], не изображений компактных групп [5]. Для оценки положения изображений компактных групп объектов целесообразно осуществлять их предварительное разделение на совокупность изображений одиночных объектов. Цифровые астрономические изображения являются полутонными

[6, 7]. Для сегментации изображений объектов, пересекających изображения соседних объектов, на полутонных изображениях еще всего применяются статистические методы [7, 8] и методы сегментации областей [9].

Статистические методы основываются на использовании различных статистических моделей изображений [10]. В работах [11–13] предложены методы для выделения фрагментов полутонных изображений. По сравнению с пороговыми методами [6, 7] методы статистической сегментации обеспечивают более устойчивые результаты в условиях наличия неполных данных (например, при отсутствии данных о чистоте параметров статистической модели) [14].

В то же время астрономические изображения зачастую содержат изображения объектов, различающиеся по форме и размеру (от изображений астероидов размером в 2–3 пикселя до изображений ярких звезд размером в сотни пикселей) [1, 15]. Существенные деформации формы и размеров

изображений объектов приводят к сложности создания практически значимой статистической модели, общей для всех сегментируемых изображений [11].

Для сегментации изображений небесных объектов на цифровых кадрах часто применяются методы, принадлежащие к классу методов сегментации областей [16–18]. Их существенным недостатком является сложность выбора оптимального порогового значения водораздела. При обработке астрономических изображений это может привести к пропуску изображений объектов со слабым контрастом и к выделению большого количества сегментов с изображениями ложных объектов.

Указанные недостатки учтены в методе сегментации изображений одиночных объектов на цифровых астрономических изображениях [19]. В качестве маркерных точек в данном методе используются пики предварительно обнаруженных изображений объектов. Сегментация изображений объектов на цифровом кадре производится последовательно для каждого строкового пикселя. Для минимизации вычислительных затрат в окрестности строковых пикселей формируется область сегментирования с заданным размером и возможностью ее динамического увеличения. Для уменьшения количества обработываемых данных и повышения производительности сегментации проводится модификация исходного изображения, которая включает в себя яркостное выравнивание, масштабирование, бинаризацию. При этом сегменты, выделяемые с использованием модифицированного метода сегментации, не анализируются на возможность наличия в них изображения более одного объекта [19]. В то же время, устойчивость данного метода сегментации к особенностям астрономических изображений (размытость границ выделяемых изображений, нервномерность фоновой подложки) делают целесообразным его использование для выделения сегментов, в которых возможно наличие изображений компактных групп объектов.

Целью настоящей работы является разработка метода сегментации статистически зависимых изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях с применением напиксельной Гуссовской модели, позволяющей сократить вычислительные затраты.

1. Постановка задачи

В ходе астрономических наблюдений могут быть получены цифровые астрономические кадры (CCD-кадры), которые определяются набором яркостей пикселей в определенной области возможных значений. Изображение цифрового кадра включает в себя фоновую подложку и изображения объектов (звезд, стероидов). Изображение объекта на CCD-кадре формируется за счет попадания фотонов от этого объекта в пиксели CCD-матрицы [3, 20]. Каждый пиксель кадра содержит потенциал, пропорциональный количеству упавших на

него фотонов. При этом наблюдению доступны только группированные (объединенные) события, связанные с падением фотонов на пиксель во время экспозиции кадра. Таким образом, все события попадания фотонов в точки, принадлежащие пикселю, сливаются в событие попадания фотонов в данный пиксель. Каждый отдельный фотон не может быть отнесен к конкретному объекту или фону. На цифровом кадре возможно пересечение изображений нескольких близких объектов (объектов с близкими угловыми координатами) (рис. 1, 2). Другими словами, изображения близких объектов на цифровом кадре представляют собой статистически зависимую группированную выборку событий, заключающихся в попадании фотонов в пиксели CCD-матрицы [21].

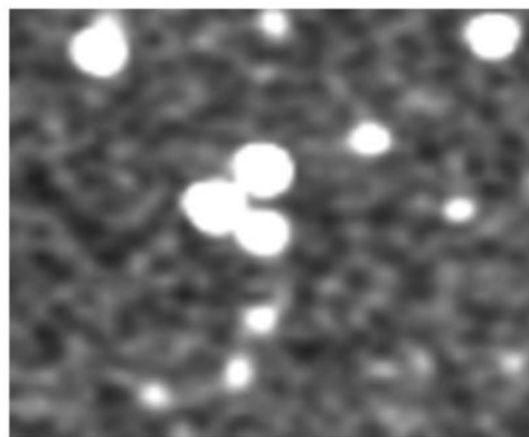


Рис. 1. Пример пересечения изображений близких объектов на цифровом кадре

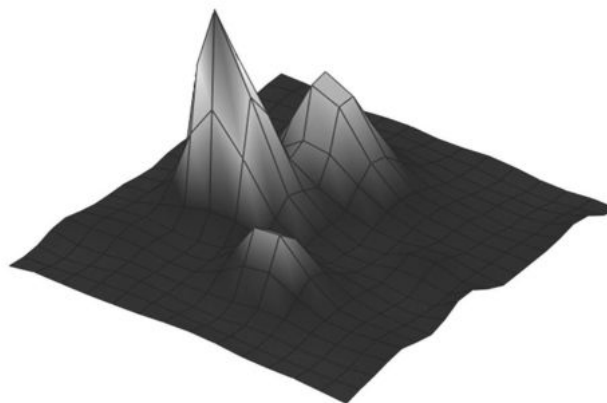


Рис. 2. Пример пересечения изображений близких объектов в 3D-представлении

Решение о разделении потенциалов (яркостей) пикселей статистически зависимых изображений между объектами (источниками излучения) принимается на этапе оценки параметров местоположения объектов на CCD-кадре [5, 21]. При этом предполагается, что принятие предварительного решения о принадлежности пикселя к одному из изображений объектов возможно уже на этапе сегментации. Будем считать, что на цифровом кадре проводится предварительное обнаружение множеств изображений объектов Ω_{detimg} с использованием известных методов обнаружения

изобр жений н цифровых строномических к - др х [22]. Обн руженным изобр жениям могут быть пост влены в соответствие координ ты их пиков (н пример, пику j -го обн руженного изобр жения объект соответствуют его координ ты (x_{pj}, y_{pj}) в системе координ т CCD-к др).

Для к ждого j -го обн руженного изобр жения объект из множеств $\Omega_{det\,img}$ может быть проведен сегмент ция изобр жений объектов н цифровых строномических изобр жениях с использованием вычислительного метод сегмент ции изобр жений одиночных объектов [19]. При т кой сегмент ции пиксели относятся либо к фону, либо к изобр жению сегментируемого объект .

В результ те может быть сформиров но множество сегментов Ξ_{sobj} , к ждый из которых х р ктеризуется координ т ми (x_{pj}, y_{pj}) пик , к к ст ртового пикселя сегмент , и содержит совокупность Ω_{sobjj} пикселей, выделенных в процессе сегмент ции изобр жения объект или комп ктной группы объектов.

Пост вим з д чур зр ботки т кого метод сегмент ции строномических цифровых изобр жений, который позволяет сегментиров ть комп ктную группу ст тистически з висимых изобр жений близких объектов. При этом р зр б тыв емый метод сегмент ции ре лизуется н полутоновом изобр жении в р мк х множеств пикселей Ω_{sobjj} ,

по результ т м сегмент ции комп ктн я групп должн быть р зделен н изобр жения одиночных объектов.

Н рис. 3 приведен пример обл сти, содержащей изобр жение комп ктной группы из двух объектов. Пунктирной линией огр ничены пиксели, выделенные с использованием метод сегмент ции изобр жений одиночных объектов [19], белой и черной линиями – предл г емое р зделение пикселей между изобр жениями объектов комп ктной группы.

2. Метод сегмент ции строномических цифровых изобр жений

В р зр б тыв емом методе сегмент ции будем использовать н дпиксельную Г усову модель изобр жений объектов [5]. Форм изобр жения объект з д ется в виде двумерной г усси ны.

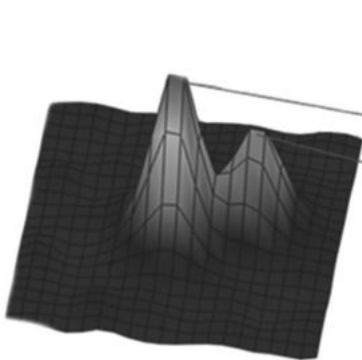


Рис. 3. Пример изобр жения комп ктной группы, состоящей из двух объектов

В р мк х т кой н дпиксельной модели яркость пикселя изобр жения объект определяется зн чением г усси ны в точке с координ т ми центр пикселя. М ксимум г усси ны определяется координ т ми пик (x_{pj}, y_{pj}) . Известно, что пик изобр жения j -го сегментируемого объект (x_{pj}, y_{pj}) н ходится в окрестности м ксимум г усси ны, зн чения г усси ны убыв ют от её м ксимум к р ям. Это позволяет счит ть, что яркость любого пикселя изобр жения исследуемого объект может только уменьш ться при движении от центр г усси ны.

В предв рительно выделенном сегменте Ω_{sobjj} может присутствов ть связ нное, ст тистически з висимое изобр жение комп ктной группы объектов, требующее р зделения н изобр жения отдельных объектов. В изобр жение выделенного сегмент Ω_{sobjj} входят пиксели, прин длеж щие всем изобр жениям объектов, сост вляющих комп ктную группу объектов со ст тистически з висимыми изобр жениями. В р зр б тыв емом методе пик изобр жения j -го сегментируемого объект используется к к ст ртовый пиксель для р зделения изобр жений комп ктной группы. Особенности используемой модели позволяют утвержд ть, что при спуске от м ксимум г усси ны, входящей в совокупность двумерных г усси ны, н ступит момент, когд зн чения яркости н чнут возр ст ть, переходя от изобр жения одного объект к изобр жению другого. Учитыв я свойство монотонного убыв ния г усси ны при движении от центр j -го сегментируемого изобр жения объект (м ксимум г усси ны) к его кр ям, возр ст ние яркости пикселя можно использов ть к к условию р зделения изобр жений объектов комп ктной группы.

В связи с н личием шумов н цифровом к дре и невозможностью отнесения смежных пикселей только к одному изобр жению объект допуск ется, что ч сть пикселей, зн чение яркости которых при движении от центр j -го сегментируемого изобр жения объект возр ст ет, целесообразно отнести к сегментируемому изобр жению. Для этого введем критическое зн чение прир щения яркости μ_{fbr} .

При движении от пик сегментируемого изобр жения ук з нное критическое зн чение

определяет допустимое возрастание яркости, при котором пиксель по-прежнему будет отнесен к j -му выделяемому изображению (рис. 4).

Предлагаемый вычислительный метод сегментации компактных групп статистически независимых изображений близких объектов на цифровых изображениях основан на реализации следующей последовательности операций.

1. С использованием вычислительного метода сегментации изображений одиночных объектов [19] формируется множество сегментов Ξ_{sobj} , каждый из которых характеризуется координатами (x_{pj}, y_{pj}) пика, к которому относится пиксель сегмента, и содержит совокупность Ω_{sobij} пикселей выделенного в процессе сегментации изображения объекта или компактной группы объектов.

2. Формируется множество пиков, к которым относятся пиксели сегментов, координаты которых входят в j -й сегмент Ω_{sobij} [22].

3. В каждом сегменте изображения определяется количество пиков, к которым относятся пиксели сегмента.

4. Если для j -го сегмента Ω_{sobij} количество пиков, к которым относятся пиксели сегмента, более 1 ($N(\Omega_{sobij}) > 1$), то принимается решение, что j -й сегмент является изображением компактной группы объектов и проводится разделение изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов (блоки 5–6). В противном случае, осуществляется переход к следующему сегменту кд (блок 2).

5. Для всех статических пикселей $N(\Omega_{sobij})$, принадлежащих j -му сегменту Ω_{sobij} , будет сформирован сегмент Ω_{sobij} . При этом $N(\Omega_{sobij})$ сегментов будут дублироваться во множестве Ξ_{sobj} . Для уменьшения вычислительных затрат дубликаты сегмента Ω_{sobij} исключаются из рассмотрения, вместо указанных $N(\Omega_{sobij})$ сегментов используется один и тот же сегмент Ω_{sobij} , имеющий множество статических пикселей (пиков) θ_{peakj} .

6. Для каждого l -го статического пикселя j -го сегмента Ω_{sobij} анализируются пиксели для разделения изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов (пункт 6.1).

6.1. Осуществляется выбор очередного ik -го пикселя полутонового изображения j -го сегмента Ω_{sobij} . Выбираемый пиксель должен соседствовать с пикселем предыдущей $(n-1)$ -й итерации и обладать меньшим значением яркости на полутоновом изображении Ω_{sobij} . При отсутствии данного пикселя процесс выбора завершается. Для первой итерации ($n=1$) в качестве ik -го пикселя выбирается l -й статический пиксель j -го сегмента Ω_{sobij} .

6.1.1. Для ik -го пикселя принимается решение об отнесении его к изображению l -го объекта, если значение его яркости на полутоновом изображении Ω_{sobij} меньше значения яркости соседнего пикселя с предыдущей $(n-1)$ -й итерации:

$$A_{ikjn} < A_{ikjn-1}. \quad (1)$$

6.1.2. В противном случае проверяется, возрастает ли значение его яркости относительно соседнего пикселя с предыдущей $(n-1)$ -й итерации в пределах заданного критического значения:

$$\frac{A_{ikjn-1} - A_{ikjn}}{A_{ikjn-1}} < \mu_{fbr}. \quad (2)$$

Если условие (2) выполняется, принимается решение об отнесении ik -го пикселя к l -му изображению объекта.

После рассмотрения всех пикселей (пункт 6.1) всех сегментов Ξ_{sobj} вычислительные операции алгоритма, реализующего предложенный метод сегментации компактных групп статически независимых изображений близких объектов, считаются выполненными.

Сегментация изображений объектов на цифровом кд проводится для каждого пикселя предварительно обнуленного изображения объекта. Несмотря на выделения одиночного объекта возможность наличия в области сегментирования изображения более одного объекта не учитывается. Следовательно, изображения выделенных сегментов, полученные при сегментации со статическим пикселем любого изображения компактной группы объектов, несмотря на выделения одиночного объекта будут совпадать (рис. 5, а).

В результате работы предлагаемого метода сегментации компактных групп статически независимых изображений близких объектов из изображения сегмент выделяются изображения одиночных объектов (рис. 5, б, в).

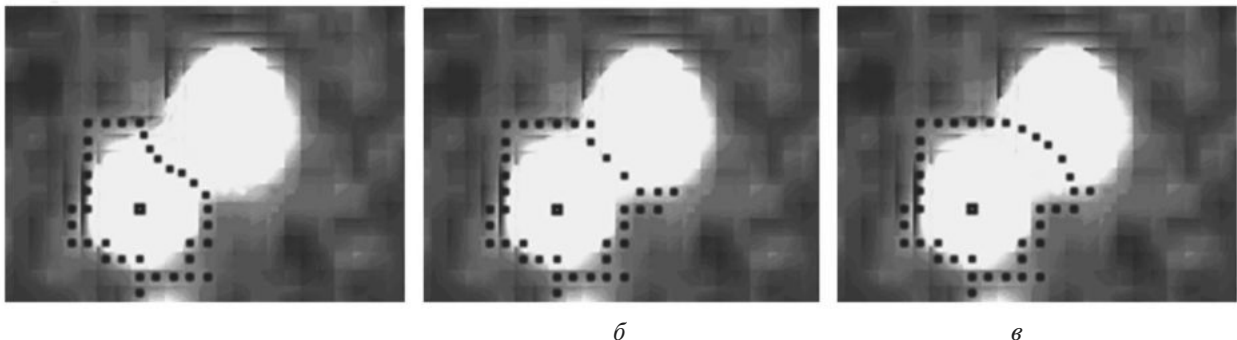


Рис. 4. Пример сегментации изображения компактной группы при различных значениях μ_{fbr} :
— $\mu_{fbr} = 0$; б — $\mu_{fbr} = 0.15$; в — $\mu_{fbr} = 0.4$

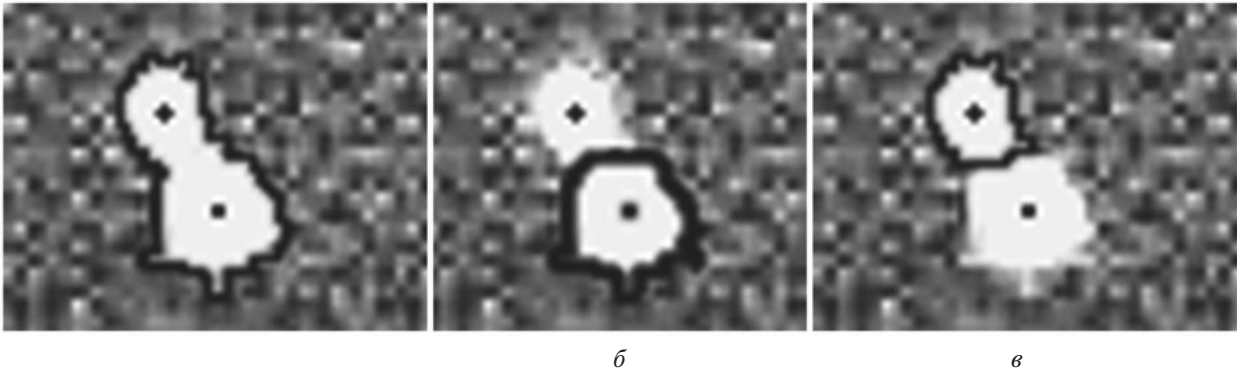


Рис. 5. Изобр жение комп ктной группы объектов:
— изобр жение, выделенное к к изобр жение одиночного объект ;
б — результат сегмент ции изобр жения *j*-го объект ;
в — результат сегмент ции изобр жения близкого объект

**3. Результ ты тестиров ния и внедрения
метод сегмент ции**

Тестиров ние р боты предложенного метод проводилось для сегмент ции изобр жений комп ктных групп объектов н цифровых строномических изобр жениях. Вч стности, р зр бот нный метод используется для сегмент ции изобр жений комп ктных групп объектов н цифровых к др х в прогр ммном комплексе втом тизиров нного обн ружения стероидов и комет CoLiТес [23]. Исследов ние р зр бот нного метод сегмент ции изобр жений комп ктных групп объектов н цифровых строномических изобр жениях проводились н цифровых к др х, полученных с использованием 7-ми телескопов из 8-ми строномических обсерв торий (т бл. 1).

Эффективность р зр бот нного метод подтвержден высокой точностью измерения положения объектов Солнечной системы [24, 25] и

результ тивностью р боты прогр ммного обеспечения CoLiТес. Отметим, что с помощью CoLiТес в Центр м лых пл нет (MPC) были перед ны результат ы обр ботки более 700 000 измерений, позволившие открыть 4 кометы и более чем 1560 стероидов (в ч стности, 21 Троянский стероид Юпитер , 5 NEO и 1 кент вр).

Выделение изобр жений комп ктных групп только в предв рительно выделенных сегмент х (блок 1) и определение количеств объектов в выделенных сегмент х (блоки 3,4) позволило снизить количество н лизируемых пикселей в 16 – 1000 р з (для к дров, полученных с использованием телескопов OMT-800 и Genon соответственно) (т бл. 2). В случ е же отсутствия (блоки 3,4) н цифровом к дре изобр жений комп ктных групп объектов (цифровые к дры телескоп VNT), попытк их сегмент ции не проводил сь.

Т блец 1

Технические х р ктеристики используемых телескопов								
Observatory	ISON-Uzhgorod Observatory		Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO)	ISON-NM Observatory	Ст нция М яки	Ч стн я обсерв то-рия Ananjev	Vihorlatská hviezdáreň Observatory	КрАО
MPC code	K99		—	H15	583	L33	—	095
Telescope	ChV-400	BRC-250M	PlaneWave-CDK24 (Promt8)	Centurion 18	OMT-800	ARTEMIS	VNT	Genon
Aperture, sm	40	25	61	45.5	80	25.4	100	30
CCD-camera	FLI PL09000	Apogee Alta U9	Apogee F42	FLI ML09000-65	MicroLine 9000	ATIK-314L	FLI	FLI PL 16803
Resolution, pix	3056 x 3056	3072 x 2048	2048 x 2048	3056 x 3056	3056 x 3056	1391 x 1039	512 x 512	4096 x 4096
Pixel size, μm	12	9	13.5	12	12	6.45	48	9
Scale, “	1.42	1.46	0.66	1.94	1.15	1.11	1.10	4.17
Focus	1732	1269	4201	1270	2139	1193	8923	444
Прониц ющ я	16.6	17.8	18.7	19.7	18.8	18.2	17.8	16.5

Т блиц 2

Количество пиков и пикселей в изобр жениях объектов н цифровых к др х

Телескоп	Prompt8	Centurion 18	ChV-400	BRC-250M	OMT-800	ARTEMIS	VNT	Genon
Р змер к др	2048x 2048	3056x 3056	3056x 3056	3073x 2048	3056x 3056	1391x 1039	512x 512	4096x 4096
Всего сегментов	14707	33664	21212	15479	14607	7265	509	59499
Всего пикселей во всех сегмент х	169552 (4%)	564461 (6%)	740252 (8%)	191631 (0.3%)	1671053 (17%)	172956 (12%)	7354 (2.8%)	838123 (0.3%)
Всего сегментов более 2-х пиков	255 (1.7%)	364 (1%)	170 (0.8%)	171 (1.1%)	2573 (17.6%)	91 (1.2%)	0 (0%)	238 (0.4%)
Всего пикселей в сегмент х с бо- лее 2-мя пик ми	38747 (0.9%)	76432 (0.8%)	135823 (1.4%)	41921 (0.6%)	561956 (6%)	4992 (0.3%)	0 (0%)	27800 (0.1%)

Предложенный вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов позволяет повысить точность оценки положения астрономических объектов. Практическое применение этого метода сегментации обеспечило в среднем для 7% объектов, выделенных ранее, среднее снижение СКО оценки положения на 30%.

Выводы

В статье представлен вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов на цифровых изображениях. Основу этого метода составляет использование Гуссовской модели изображений объектов. В рамках данной модели компактная группа объектов статистически зависимыми изображениями рассматривается как объединение совокупности двумерных Gaussian. Для минимизации вычислительных затрат сегментация изображений компактных групп проводится в сегментах, выделенных предварительно с использованием сегментации изображений одиночных объектов.

Для разделения изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов проводится анализ пикселей каждого выделенного сегмента. Одним из параметров предложенного метода сегментации изображений рассматриваемого типа является критическое значение приращения яркости. При движении от пикселируемого изображения увеличивается критическое значение, определяющее допустимое возмущение яркости, при котором пиксель целесообразно отнести к рассматриваемому сегменту изображения объекта.

Начальной новизной представленного метода является:

- выделение изображений компактных групп только в сегментах, предварительно определенных с использованием сегментации одиночных объектов, что позволило провести сегментацию изображений компактных групп объектов с вычислительными затратами, близкими к минимальным;

- предварительное определение количества изображений объектов, входящих в изображение компактной группы, что позволило решить задачу разделения исходного изображения на изображения конкретных объектов (при известном числе объектов);

- использование свойств гауссовской модели, что позволило провести разделение изображения компактной группы на изображения конкретных объектов.

Представленный метод сегментации изображений компактных групп астрономических объектов применяется в программном комплексе автоматизированного обнаружения стероидов и комет CoLiTec [23].

Список литературы: 1. Злобин В. К. Обработка эрокометрических изображений / В. К. Злобин, В. В. Еремеев. – М.: Физматлит, 2006. – 288 с. 2. Pankaj J. An introduction to astronomy and astrophysics / Pankaj Jain. – Boca Raton: CRC Press, 2015. – 341 p. 3. Киселев А. А. Теоретические основы фотографической строметрии / А. А. Киселев. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 264 с. 4. Mighell K. J. Algorithms for CCD Stellar Photometry. Astronomical Data Analysis Software and Systems / K. J. Mighell; ed. D. V. Mehringer, R. L. Plante, D. A. Roberts // VIII ASP Conference Series. – 1999. – P. 317 – 328. 5. Соколов Н. С. Оценка координат близких стероидов на ПЗС-изображении / Н. С. Соколов, В. Е. Сивневич, М. М. Безкровный, С. В. Хлывов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4/4(64). – С. 41 – 45. 6. Burger W. Principles of Digital Image Processing / W. Burger, M. J. Burge. – Berlin: Springer-Verlag, 2009 – 253p. 7. Gonzalez R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods Prentice Hall. – 2008 – 954p. 8. Melih S. A. Probabilistic and Geometric Shape Based Segmentation Methods, University of Louisville. – 2012. – 304 p. 9. Fu K. A survey on image segmentation / K. Fu, J. Mui // Pattern Recognition. – Vol. 13, Iss.1, – 1981. – P. 3-16. 10. Rosenfeld A. Image pattern recognition / A. Rosenfeld // Proceedings of IEEE, 69(5). – 1981. – P. 596-605. 11. Ren X. Probabilistic Multi-scale Model for Contour Completion Based on Image Statistics / X. Ren, J. A. Malik // ECCV'02, Copenhagen. – Vol.1, 2002. – P. 312-327. 12. Kang C. A novel edge detection method based on the maximizing objective function / C. Kang, W. Wang // Pattern. Recog. – Vol. 40, – 2007. – P. 609-618. 13. Rebordao J. V. Lookup table loadings for image processing with controlled

knots / J.V. Rebordao // Computer vision, graphics and image processing. — 1989. — v. 47, №2. — P. 189 — 202. **14.** Боч ров П.П. Теория вероятностей. М тем тическ яст тистик / П.П. Боч ров , А.В Печинкин — М: Физм тлит. — 2005. — 296 с. **15.** Howell S.B. Handbook of CCD Astronomy/ S. J. Howell // Cambridge University Press. — 2000. — P. 164. **16.** Lahouaoui L. A comparative study of Image Region-Based Segmentation Algorithms / T.Mohamadi, L. Lahouaoui // IJACSA — Vol. 4(6) — 2013. P. 119 — 127. **17.** Krishnan G. Region Based Segmentation Algorithm for Remote Sensing Image Based on Heterogeneity of Objects / G. Krishnan, A. Tholkappia // MEJSR - Vol. 23 (7) — 2015 — P. 1375-1378. **18.** Manohar K. Review on Techniques of Image Segmentation / K. Manohar, A. S Patil // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering // IJARCCCE - Vol. 5(3) — 2016. — P. 201 — 209. **19.** Погорелов А. В. Сегмент ция изобр жений одиночных объектов н цифровых строномических изобр жениях / А. В. Погорелов, В. Е. С в невич, А.Б. Брюховецкий // Открытые информ ционные и компьютерные интегриров нные технологии, — Х рьков: ХАИ . — 2017. — № 76. — С. 170-191. **20.** Piprek J. CCD Astronomy: Optoelectronic Devices: Advanced Simulation and Analysis /J. Piprek // Springer Science & Business Media, — 2005. — P 452. **21.** С в невич В.Е. Определение координ т ст тистически з висимых объектов н дискретном изобр жении // Р диоэлектроник и информ тик . — 1999. — № 1. — С. 4—8. **22.** С в невич В.Е. Метод предв рительного обн ружения сигн ловот небесных объектов н цифровом изобр жении / В.Е. С в невич, А.М. Кожухов, А.Б. Брюховецкий // Системи озброєння т військов технік . — Х рків: ХУПС, — 2011. — Вип. 2(26). — С. 169 — 173. **23.** С в невич В.Е. Прогр мм CoLiTec в том тизиров ного обн ружения небесных тел со сл бым блеском / В. Е. С в невич, А. Б. Брюховецкий, А. М. Кожухов, Е. Н. Диков, В. П. Вл сенко // Космічн н ук і технологія. — 2012. — т.18. — №1. — С. 39 — 46. **24.** Savanevych V. E A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskyi, N. S. Sokovikova, M. M. Bezdrovny, I. B. Vavilova, Yu. M. Ivashchenko, L. V. Elenin, S. V. Khlamov, Ia. S. Movsesian, A. M. Dashkova, A. V. Pogorelov // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2015. — T. 451 (3). — С. 3287-3298. **25.** Savanevych V. E. Comparative analysis of the positional accuracy of CCD measurements of small bodies in the solar system software CoLiTec and Astrometrica / V. E. Savanevych, A. B. Briukhovetskyi, Yu. N. Ivashchenko, I. B. Vavilova, M. M. Bezdrovny, E. N. Dikov, V. P. Vlasenko, N. S. Sokovikova, Ia. S. Movsesian, N. Yu. Dikhtyar, L. V. Elenin, A. V. Pohorelov, S. V. Khlamov // Kinematics and Physics of Celestial Bodies — 2015. — T. 31 (6). — P. 302-313.

Resume

A.V. Pohorelov, V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskyi, S.G. Udovenko

COMPUTATIONAL METHOD FOR SEGMENTING IMAGES OF COMPACT GROUPS OF OBJECTS ON DIGITAL ASTRONOMICAL IMAGES

Background: Most methods for determining the positions of objects on a digital astronomical image allow one to evaluate the position of only images of single objects, rather than images of compact groups. To assess the position of images of compact groups of objects, it is expedient to carry out their preliminary division into a set of images of single objects.

Materials and methods: In this work, we use an over-pixel Gaussian model of image objects. Within the framework of this model, a compact group of objects with statistically dependent images is considered as a union of a set of two-dimensional Gaussians. To minimize computational costs, the segmentation of images of compact groups is carried out in segments selected in advance using image segmentation of single objects. In the method being developed, the peak of the image of the segmented object is used as the starting pixel for dividing the images of a compact group.

Results: In accordance with the proposed method, the segmentation of images of objects on a digital frame is performed for each peak of the previously detected image of the object. At the stage of isolating a single object, the possibility of having more than one object in the segmentation area of the image is not taken into account. Therefore, the images of the selected segments, obtained when segmenting with the start pixel of any image of a compact group of objects, will coincide at the stage of selecting a single object. One of the parameters of the proposed method of segmentation of images of the type under consideration is the critical value of the brightness increment. When moving from the peak of the segmented image, the specified critical value determines the permissible increase in brightness, at which the pixel is expediently attributed to the considered image segment of the object.

As a result of the proposed method of segmentation of compact groups of statistically dependent images of close objects, images of single objects are extracted from the image of the segment. Testing of the method was carried out for segmentation of images of compact groups of objects on digital astronomical images. In particular, the developed method is used for segmenting images of compact groups of objects on digital frames in the software package for automated detection of asteroids and comets CoLiTec.

Conclusion: The paper proposes a computational method for segmenting compact groups of statistically dependent local images of close objects on digital images. It is essentially new in the work to isolate images of compact groups only in segments preliminarily determined using segmentation of single objects. This allows us to segment images of compact groups of objects with computational costs close to minimal.

Поступил в редколлегию 13.09.2017

УДК 004.89: 614.446.3

Д.И. Чумченко¹, А.С. Гончаренко²¹ Харьковский национальный эрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского

«Харьковский виционный институт»,

г. Харьков, Украина, dichumachenko@gmail.com;

² Харьковский национальный эрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского

«Харьковский виционный институт», Харьков, Украина, anthonygoncharenko@gmail.com;

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВИЧ-ИНФЕКЦИИ

В статье рассмотрены проблемы прогнозирования эпидемического процесса ВИЧ-инфекции. Для решения данной проблемы разработана интеллектуальная мультиагентная модель, позволяющая учесть факторы, влияющие на заболеваемость, распределение по возрастным категориям и группам риска. Модель использует статистические данные о реальной заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Харьковской области с 2010 по 2016 год. Интеллектуальная мультиагентная модель реализована программно в среде разработки Visual Studio 2013 на языке программирования C#. Разработанный программный комплекс показывает высокую точность построенного прогноза.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ, ВИЧ-ИНФЕКЦИЯ, ЭПИДЕМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

Д.І. Чумченко, А.С. Гончаренко Застосування інтелектуального мультиагентного підходу до моделювання епідемічного процесу ВІЛ-інфекції. У статті розглянуті проблеми прогнозування епідемічного процесу ВІЛ-інфекції. Для вирішення даної проблеми розроблено інтелектуальну мультиагентну модель, що дозволяє врахувати чинники, що впливають на захворюваність, розподіл за віковими категоріями та групами ризику. Модель використовує статистичні дані про реальну захворюваність на ВІЛ-інфекцію в Харківській області з 2010 по 2016 роки. Інтелектуальна мультиагентна модель реалізована програмно в середовищі розробки Visual Studio 2013 на мові програмування C#. Розроблений програмний комплекс показує високу точність побудованого прогнозу.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНА МУЛЬТИАГЕНТНА МОДЕЛЬ, ВІЛ-ІНФЕКЦІЯ, ЕПІДЕМІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПРОГНОЗУВАННЯ ЕПІДЕМІЧНОГО ПРОЦЕСУ.

D.I. Chumachenko, A.S. Goncharenko Application of intelligent multiagent approach to HIV-infection epidemic process simulation. The article considers the problems of forecasting the epidemic process of HIV infection. To solve this problem, an intelligent multiagent model has been developed. It allows taking into account the factors influencing morbidity, distribution by age categories and risk groups. The model uses statistical data on the real incidence of HIV infection in the Kharkiv region from 2010 to 2016. The intelligent multiagent model is implemented programmatically in the Visual Studio 2013 development environment in the C # programming language. The developed program complex shows high accuracy of the constructed forecast.

INTELLIGENT MULTIAGENT MODEL, HIV-INFECTION, EPIDEMIC PROCESS, FORECASTING OF EPIDEMIC PROCESS

Введение

Проблема распространения инфекционных заболеваний во все времена являлась чрезвычайно важной. Урбанизация, постоянный рост численности населения Земли, уменьшение общего количества и загрязнение пресной воды и плетель — все это факторы, которые в той или иной степени вносят свой «вклад» в появлении все новых, более устойчивых к известным методам лечения инфекций. Причем темп роста только увеличился со временем. Данная ситуация приводит к тому, что современная эпидемиология инфекционных заболеваний является одной из самых быстроразвивающихся и наиболее важных наук современности, в которой всего человечество.

Эпидемиология инфекционных заболеваний как наука о закономерностях развития и прекращения эпидемического процесса, способов его ограничения и ликвидации накопил огромный

теоретический, практический и экспериментальный материал, который является основой для разработки и внедрения научно обоснованных эффективных мер предупреждения и борьбы с инфекционными заболеваниями.

ВИЧ-инфекция представляет собой глобальную угрозу для общественного здоровья и социального развития человечества. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на конец 2016 г. в мире насчитывалось примерно 36,7 миллион человек с ВИЧ-инфекцией, 1,8 миллион человек приобрели ВИЧ-инфекцию в 2016 году. В 2016 г. от причин, связанных с ВИЧ, во всем мире умерло 1,0 миллион человек [1].

Ключевыми группами населения являются группы лиц, подвергнутых повышенному риску инфицирования ВИЧ, независимо от типа эпидемии или местных условий. К таким группам относятся: мужчины, имеющие секс с мужчинами,

лиц, употребляющие инъекционные наркотики, лиц, находящихся в местах лишения свободы и других условиях изолированного пребывания, секс-работники и их клиенты, а также трангендерные лица.

Особенности поведения делают уязвимыми к ВИЧ эти группы населения и затрудняют доступ к программным тестированию и лечению. Использование антиретровирусных препаратов для лечения ВИЧ-инфицированных позволяет увеличить продолжительность жизни, улучшить ее качество и снизить риски передачи инфекции при рискованном поведении.

По данным ВОЗ за период с 2000 по 2016 г. ежегодно антиретровирусной терапией (АРТ) в мире было спасено 13,1 миллион человеческих жизней. Однако, несмотря на эффективность АРТ для длительного сохранения жизни ВИЧ-инфицированных, это все-таки по-прежнему остается пожизненно неизлечимым, что диктует необходимость совершенствования профилактических мер [2].

Для разработки эффективных профилактических программ необходимо выявить ведущие факторы риска, в первую очередь поведенческие, способствующие распространению заболеваний. При этом в разных регионах мира и на разных территориях могут преобладать те или иные факторы, что зависит от социально-экономических, культурных, религиозных и других исторически сложившихся особенностей поведения населения конкретного региона или страны. Прогнозирование динамики распространения заболеваний позволит выявить ведущие факторы риска распространения ВИЧ-инфекции в конкретных условиях. Наиболее эффективным инструментом является имитационная математическая модель, исходными данными для построения построения которой должны быть данные о заболеваниях и особенностях поведения групп риска той территории, для которой разрабатывается профилактическая программа [3].

1. Постновка задачи исследования

Таким образом в данном исследовании предлагается интеллектуальная мультигентная модель распространения ВИЧ-инфекции, результатом которой является прогнозирование динамики заболеваний. В исследовании использованы следующие статистики о заболеваниях ВИЧ-инфекцией в Харьковской области и результаты тестирования лиц из групп риска за период с 2010 по 2016 год.

2. Интеллектуальное мультигентное моделирование как подход к прогнозированию эпидемических процессов

Говоря о математическом моделировании, нельзя не отметить внимание к эволюционный процесс смены парадигм моделирования, который характерен для многих дисциплинарных областей, в которых применяются методы теории

управления. Этот процесс начал происходить в современных научных исследованиях, к которым «смен поколений» математических моделей, совсем недавно. Тем не менее, сейчас можно говорить уже о трех типах поколений. На первых этапах речь все еще идет о математической записи отдельных фрагментов и блюдений отдельных объектами. Для них характерна простота описаний, типична линейность уравнений и малая размерность (часто воспроизводится всего одна или две переменных). Методы анализа связаны, в основном, с получением аналитических решений и графическим рассмотрением на фазовой плоскости. Следующим этапом являются модели, описывающие объект во всей его полноте — в них объект представлен в виде системы — модель отражает его структуру и законы, по которым он функционирует. Модели становятся существенно нелинейными, чисто математический подход дополняется логико-семантическим. Возрастет размерность, достигая нескольких десятков. Такие модели называются «сложными», «большими», рачим инструментом на этом этапе становится вычислительный эксперимент. В настоящее время главным предметом исследования является переход к третьему поколению математических моделей — моделям виртуального мира. Виртуальное моделирование можно определить, как воспроизведение трехмерного мира компьютерными средствами. Резко возрастает объем обрабатываемой и воспроизводимой информации (например, количество визуализируемых «действий» достигнет нескольких тысяч). В задаче математического моделирования кроме объекта моделирования и модели, обязательно присутствует субъект моделирования, лицом, усилиями и в интересах которого осуществляется модель [4]. Роль субъекта моделирования охватывается решаемой, ибо именно его цели, интересы и предпочтения формируют модель.

Именно специфические потребности субъекта моделирования и привели к тому, что от математического моделирования отделился такой особый вид исследований объектов и построения моделей, как имитационное моделирование. В вышеупомянутых «сложных» моделях виртуальных процессов зачастую присутствуют множество компонентов, которые схожи по своей природе, но различны по поведению. Схожесть означает, что компоненты имеют ряд свойств, которые в моделировании играют роль управляющих параметров. Различие означает же индивидуальность в поведении, то есть зависимость от значений тех или иных характеристик объектов, каждый компонент которых имеет свою уникальную линию поведения. В таких моделях, как правило, субъектом моделирования является задача прогнозирования поведения группы типов объектов при различных взаимодействиях (управляющих) параметров.

Описанный выше вид моделирования называется мультигентным моделированием. Данное же понятие определено. Агентное моделирование

— это метод имитационного моделирования, исследующий поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики и логик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, глобальное поведение возникает в результате деятельности множества агентов.

Агент — это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может поступать в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением и другими агентами, и, в процессе функционирования, может менять свое поведение и учитывать изменение внешней среды [5].

В основе агент-ориентированных моделей лежат следующие основные идеи:

1. Объектная ориентированность.
2. Обучаемость агентов (т.к. непрерывная эволюция).
3. Сложность вычислений.

Главным объектом, рассматриваемым в агентном подходе, является понятие агента. Основными свойствами агентов будем считать:

1. Интеллектуальность. Это свойство должно быть умеренным для того, чтобы агенты не могли познать нечто большее, выходящее за рамки привил исследуемой системы.

2. Наличие жизненной цели. Расположение во времени и пространстве. Имеется в виду некоторая «средовитность», которая может быть представлена как в виде решетки, так и в виде гораздо более сложной структуры. Иногда, результат взаимодействия агентов в «среде обитания» — равновесие, иногда — непрерывно протекающий процесс эволюции, иногда — бесконечный цикл без определенного решения.

3. Децентрализация. Агенты не зависят друг от друга, их поведения зависит на индивидуальном уровне.

Считается, что агентно-ориентированные модели (АОМ) дополняют традиционные аналитические методы. Последние позволяют нам охарактеризовать равновесие системы, АОМ позволяют исследовать возможность получения того состояния. АОМ могут объяснить причину возникновения тех явлений как: террористические организации, войны, обрушения рынков и т.д.

Агентная модель, обеспечивающая взаимодействие большого количества сущностей, и содержащая в своей основе дискретно-событийную модель, называется мультиагентной моделью. Мультиагентное имитационное моделирование активных систем — это новая концепция интеллектуальных информационных технологий. Она ориентирована на совместное использование моделей и методов естественного и искусственного интеллекта для виртуального исследования, идентификации и прогнозирования состояния и поведения активных систем в заданной среде. Принципиальным отличием новой концепции моделирования является введение и формализация

сенсорных связей (переменных) между взаимодействующими активными элементами динамической системы. В процессе исполнения, мультиагентная модель представляет собой некоторое множество переменных состояний, характеризующее модель, также список запланированных событий, которые должны произойти в будущем.

3. Интеллектуальная мультиагентная модель пространства ВИЧ-инфекции

Для моделирования динамики пространства инфекции был разработан алгоритм, содержащий все принципы агентного моделирования. В качестве болезни был выбран ВИЧ-инфекция, основным механизмом передачи которой является контактный (половой контакт, контакт с кровью и биологическими жидкостями человека, переливание крови и др.). Это энтропозная инфекция, т.е. передача осуществляется от одного человека другому. [6] Основной идеей метода является принцип децентрализации агентных моделей. Поведение агентов зависит на индивидуальном уровне, динамика системы определяется как результат взаимодействия множества агентов. Основное агентное пространство имитационной модели пространства инфекции и определены правила взаимодействия агентов [7]. В модели приняты следующие основные допущения: существует вероятность взаимодействия любого агента с любым другим из системы; единицей времени является итерация, отсчет времени начинается с нуля итераций, шаг времени равен единице; все агенты разбиваются на типы, для каждого типа объектов определяется система правил [8].

Свойства агента:

- тип агента (блуждающий и неблуждающий);
- время ближайшего события: t ;
- возраст агента: t_old ;
- локация в которой находится агент: $current_location$;
- тип ближайшего события (смерть, переход в зараженную зону, переход в безопасную зону или рождение);
- позиция агента в локации;
- статус агента относительно болезни (0 — здоров, 1 — болен, 2 — иммунитет).

Агенты в системе — объекты с общим набором свойств, но индивидуальными числовыми значениями. Они отличаются по типу, каждый из которых имеет свою линию поведения. Правила поведения зависят на случайными вероятностями, которые остаются неизменными до окончания работы программы.

Локации представляют собой одномерные динамические массивы, размер каждой зависит и масштабно может применяться общему количеству агентов в системе. Зоны содержат количество агентов, которые пребывают в них в данный период времени, их номер, ячейки (индексы массивов)

с з р женными полями, т кже идентификатор «з нятости» ячейки. В одном месте локация может находиться не более одного гента.

Система представляет собой динамический массив гентов. В ней задются все числовые характеристики локаций, т кже к геометрические размеры (длина массива), т кже происходит создание каждого из гентов со своими уникальными свойствами.

Свойства системы:

- средний возраст гента : MaxAge;
- количество гентов, обработанное за одну итерацию;
- вероятности (различные для каждого из типов гентов);
- глобальное время системы.

Входные данные делятся на два типа: начальные данные для управления системой и данные описывающие индивидуальные свойства гентов.

Параметры для работы системы: общее количество гентов в системе, количество гентов, обработанное за одну итерацию, количество зон, максимальный возраст гента.

В данном случае, уникальные свойства гентов влияют на вероятности перехода с одной локацией в другую, согласно своему типу:

- HealthyInRisk – будучи здоровым перейти в зону риск;
- SickInRisk – будучи больным перейти в зону риск;
- SickInHosp – согласно госпитализации;
- HealthOnHosp – благоприятный исход лечения.

Предлагаемая система относится к категории биоморфных мультигентных систем и представляет собой борьбу гентов с архитектурой

$$Ag_i = (shmP_i, M_i), \quad (1)$$

где $shmP_i$ – схема гента, определяющая его внутреннюю структуру; M_i – метод гента, определяющий его поведение.

Начальное положение гента `current_location` равно 0, то есть все генты находятся в безопасной зоне. При старте работы системы, происходит случайное присвоение типа ближайшего события к каждому из гентов, согласно введенным вероятностям, и его времени, в интервале от 0 до MaxAge (в итерациях). Основной идеей, реализованной гентный подход, является принцип событийного моделирования. Это достигается за счет реализации турнирного алгоритма или алгоритма построения хип (имплицитной кучи). В нем находятся номер (индексы массива) гентов – `ind_treat`. После рандомизации времени и типа ближайшего события, ведется начальное построение кучи. Хип может быть построен только для 2^m объектов. В случае если же общее количество гентов не составляет степени двойки, массив (хип) дополняется фиктивными элементами, время которых задано большим. Событийная структура,

в данном случае, служит лишь для слежения за глобальным временем. На вершине хипа находится гент с минимальным (т.е. с ближайшим) временем события. Далее осуществляется обработка данного события для гента `ind_treat`, т.е. переход из текущей локацией в ту, которая предусмотрен случайным событием. В свою очередь текущей локацией (`current_location`), становится локация, в которую перешел гент. Данному генту присваивается новый тип ближайшего события и новое, случайное время. Затем хип перестроивается заново. Указанная обработка осуществляется при помощи блока `switch()` и условных операторов. Вероятности реализованы применением генерации случайных чисел `Random()`. Так как рандомизация имеет равномерное распределение, то требуемая вероятность достигается за счет генерации случайного числа в пределах от 0 до $1/P_i$, где P_i – конкретная введенная вероятность.

Данные переходы могут повлечь за собой изменение статуса гента. Например, если гент перешел в небезопасную зону или зараженный ее участок, то его статус изменится с 0 на 1, конечно, если он не был болен до этого или не имеет иммунитета.

Зараженные генты, в зависимости от типа, могут попасть в больницу. Если это условие выполнилось, то с определенной вероятностью пациент может выздороветь, соответственно его состояние перейдет из 2 в 3.

Алгоритм реализует возможность взаимодействия гентов между собой. Каждый раз, когда гент `ind_treat` попадает в новую `current_location`, он будет помещен случайным выбранным индексом в пределах размерности массива, представляющего локацию. Здесь пока не идет речь о незапятнанности этой ячейки массива. Если же индекс массива окажется свободным, то просто вставим туда номер текущего гента. В противном случае же происходит взаимодействие гента `ind_treat` с гентом, находящимся по полученному индексу в `current_location`, назовем его `find_agent`. Примеры взаимодействия двух гентов, в зависимости от их статуса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пример взаимодействия гентов

Статус гентов до взаимодействия		Статус гентов после взаимодействия	
<code>ind_treat</code>	<code>find_agent</code>	<code>ind_treat</code>	<code>find_agent</code>
1	0	1	1
1	2	1	2
0	2	0	2
1	1	1	1
0	0	0	0

После взаимодействия гентов, гент `ind_treat`, получает новый индекс для помещения, и обработка перехода в указанную локацию начинается заново.

Программ моделирует взаимодействие агентов между собой и внешней средой, до тех пор, пока не будет подана внешняя команда, означающая остановку процесса.

4. Программная реализация интеллектуальной мультиагентной модели распространения ВИЧ-инфекции

Программная реализация задания выполнен в среде разработки Visual Studio 2013 на языке программирования C#. Результатом программной реализации является продукт, дающий возможность спрогнозировать динамику распространения инфекционного заболевания на определенное время, по введенным пользователем начальным данным.

При запуске программы будет открыто окно ввода начальных данных. В верхней панели расположено меню навигации по программе, которое имеет три вкладки: «Начальные данные», «Работа системы» и «График». Пользователь может самостоятельно в любое время переходить из одной вкладки меню в другую, но работать с системой станет возможным только после корректного ввода начальных параметров. При некорректном вводе данных появится соответствующая картинка, при наведении курсора на которую, можно узнать причину и тип ошибки. Некоторые элементы управления могут быть недоступны в тот или иной момент — это значит, что пользователь не произвел необходимых подготовительных действий, о виде которых будет сообщено в поле вывода числовой статистики работы системы, во вкладке «Работа системы». Каждый элемент программного интерфейса имеет подпись, обозначающую назначение конкретного компонента управления. Вкладка меню навигации «Начальные данные» содержит поля для ввода числовых значений начальных параметров. «Работа системы» — вкладка для отображения в реальном времени протекания заболевания. Там размещены компоненты ручного управления процессом моделирования. В конце в последней опции меню расположено поле вывода результатов моделирования в виде графиков функцией количеств агентов относительно их состояния, зависимость от времени.

На рисунках 1–3 показаны основные окна программного продукта и общее устройство интерфейса с детальными пояснениями к основным элементам управления.

Блоки ввода 3 и 4 на рисунке 1 задают соответствующие числовые параметры для работы модели, согласно введенным пользователем данным. Элемент управления 1 — сохраняет все предварительно введенные параметры, если же в каком-либо поле был допущен ошибочный ввод, то рядом появится картинка, предупреждающая об ошибке. Элемент управления 2 — задает параметры по умолчанию, после нажатия можно сразу же увидеть их значения в соответствующих полях. Значения числовых параметров по умолчанию, нельзя

редактировать. Эти данные были специально подобраны для наиболее быстрого и наглядного демонстрационного запуска программы.



Рис. 1. Окно ввода начальных данных:

- 1 — кнопка сохранения введенных начальных данных;
- 2 — кнопка задать все начальные данные по умолчанию;
- 3 — поля для ввода параметров системы;
- 4 — поля для ввода управляющих данных агентов

На рисунке 2 показан основное окно работы системы.

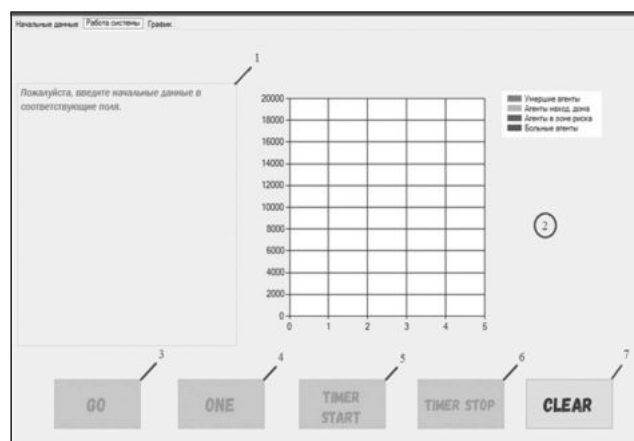


Рис. 2. Окно работы моделируемой системы:

- 1 — поле вывода всей информации о количестве агентов в каждой из локаций;
- 2 — диалог, показывающий в реальном времени числовые результаты работы программы;
- 3 — кнопка старта моделирования (не активна до ввода начальных данных, как и 4, 5, 6);
- 4 — кнопка ручного управления моделированием (одно нажатие соответствует одной итерации);
- 5 — кнопка запуска таймера (в том числе управление моделированием);
- 6 — кнопка остановки таймера;
- 7 — кнопка очистки системы для ввода новых управляющих параметров

Во избежание ошибок при работе программы, были введены ограничения на некоторые элементы управления. Точнее все кнопки в тот или иной момент времени могут быть недоступны для использования. Это связано с тем, что пользователь мог некорректно или вообще не ввести начальные данные. Также это может быть связано с тем, что при начале нового моделирования не было обновлено текущее. Подробнее информацию о причине данной ситуации можно найти в поле 1 (рис. 2).

На рисунке 3 проиллюстрировано окно вывода окончательного результата работы моделируемой системы в виде графиков.

При помощи данного программного продукта, пользователь может смоделировать и в реальном времени увидеть динамику распространения не только ВИЧ-инфекции, любого произвольного зoonозного инфекционного заболевания, которое имеет свойство передаваться от человека человеку при контакте (вид контакта не уточняется), на коротком временном периоде времени, в соответствии с начальными параметрами, заданными вручную.

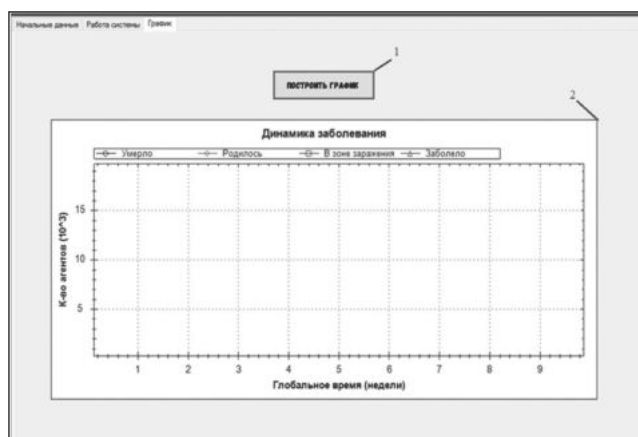


Рис. 3. Окно представления результата:

- 1 — элемент управления, при помощи которого ведется построение графиков по результатам моделирования;
2 — поле вывода графиков

5. Результаты моделирования

Для тестирования данного программного продукта, были проверены несколько вариантов входных данных. При каждом наборе параметров программ демонстрировал хорошие временные показатели. Было замечено, что на скорость работы влияют два фактора: общее количество агентов в системе и количество агентов, образующих одну итерацию. Максимальное значение этих двух параметров при тестировании достигло 100000.

- общее количество агентов в системе — 20000;
- количество агентов, образующих одну итерацию — 10000;
- количество зараженных зон — 18000;
- максимальный возраст агентов — 60 (лет).

Начальные вероятности по перемещению агентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Числовые значения управляющих параметров

Вероятности	Типы агентов	
	I = 0	I = 1
HealthyInRisk	0.1	0.9
SickInRisk	0.1	0.3
SickInHosp	0.9	0.4
HealthOnHosp	0.5	

Основные результаты, полученные в процессе моделирования, приведены на рисунке 4.

Модель демонстрирует поведение инфекционного заболевания, основным свойством которого есть передача от одного человека другому при контакте. Прогноз выполнен на короткий срок, приблизительно 4 месяца (15 недель). На рисунке 4 видны «всплески» количества заболевших агентов, после чего некоторая часть из них умерла. Эти волны имеют тенденцию к повторению через примерно равные промежутки времени, что проявляется и в реальной жизни. Если продолжить моделирование на более долгий срок, то, несмотря на возрастающую погрешность, можно наблюдать тенденцию к уменьшению количества заболевших в каждый эпидемический период.

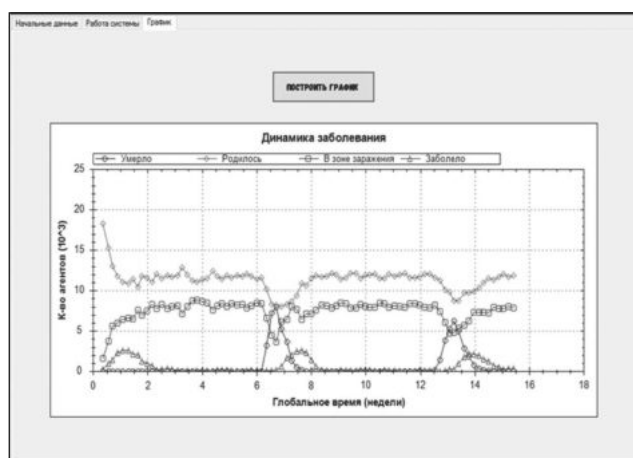


Рис. 4. Результат работы моделирующей системы

Выводы

Предложенный в статье интеллектуальный мультиагентный подход к моделированию эпидемического процесса ВИЧ-инфекции позволяет учитывать факторы, влияющие на заболеваемость, распределение населения по возрастным категориям и группам риска. Для проверки достоверности разработанной интеллектуальной мультиагентной модели использованы статистические данные о заболеваемости по Харьковской области 2010 — 2016 гг.

На основе построенной мультиагентной модели, в среде Visual Studio 2013 на языке программирования C# разработан программный комплекс, который позволяет рассчитывать прогноз заболеваемости ВИЧ-инфекцией на короткий срок (15 недель). Предложенный в статье подход позволит выявить основные факторы, влияющие на эпидемический процесс ВИЧ-инфекцией, а также разработать эффективные превентивные меры по снижению уровня заболеваемости.

Список литературы: 1. WHO. HIV/AIDS Fact sheet, July 2017. [online] Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs360/en/> 2. Global AIDS Update. UNAIDS report. 2016 [online] 16 p. Available at: <http://www.who.int/hiv/pub/arv/global-aids-update-2016-pub/en/> 3. Chernyshev Y., Chumachenko D., Tovstik A. Development of intelligent agents for

simulation of hepatitis B epidemic process // Proceedings of East West Fuzzy Colloquium 2013 (20th Zittau Fuzzy Colloquium, September 25 – 27, 2013). – Institut für Prozesstechnik Prozessautomatisierung und Messtechnik, 2013. – P.161–168. **4.** Чумченко Д.І., Чумченко Т.О. Інформційні технології епідеміологічного нагляду // Інформційні технології та інновації в економіці, управлінні проектами і програмами: [монографія] / за ред. В.О. Тимофеев, І.В. Чумченко. – Харків: ФОП Понів А.М., 2016. – С.368–379. **5.** Santos F.S., Ortega N.R.S., Zanetta D.M.T., Massad E. Fuzzy Dynamical Model of Epidemic Spreading Taking into Account the Uncertainties in Individual Infectivity // Advances in Technological Applications of Logical and Intelligent Systems. – IOS Press, 2009. – P. 180-193. **6.** Jafelice R.M., de Barros L.C., Bassanezi R.C., Gomide F. Fuzzy modeling in symptomatic HIV virus infected population // Bulletin of Mathematical Biology. Volume 66. Issue 6. – Springer, 2004. – P. 1597-1620. **7.** Chumachenko D., Chumachenko T. Agent-based investigation of sexually transmitted infection // Online Journal of Public Health Informatics, 9(1):e60, 2017. <http://ojphi.org/ojs/index.php/ojphi/article/view/7638/6159> **8.** Chumachenko D., Chumachenko T. Agent-Based Model of the Epidemic Process of Diseases with Multiple Routes of Infection Transmission Development and Evaluation // International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE), Volume 3, Issue 5. – India: ARC Publications Private Limited, 2016. – pp. 20-24.

Resume

D.I. Chumachenko, A.S. Goncharenko APPLICATION OF INTELLIGENT MULTIAGENT APPROACH TO HIV-INFECTION EPIDEMIC PROCESS SIMULATION

Background: The problem of spreading the epidemic incidence is an important social and economic problem of modern society. HIV infection is a global threat to public health and the social development of humanity. Mathematical modeling is able to adequately assess the prognosis morbidity and help identify effective antiepidemic measures to counteract infection.

Materials and methods: The article considers an intelligent multiagent approach to the modeling of dynamic systems. It is used to predict the spread of the incidence of HIV infection, taking into account the characteristics of the epidemic process and based on real statistics on the Kharkov region from 2010 to 2016.

Results: An intelligent multiagent model of spreading the incidence of HIV infection has been developed. The software implementation of the model is performed in the Visual Studio 2013 environment in the C # programming language. The developed software allows calculating the short-term forecast of the dynamics of the epidemic process. To test the adequacy of the constructed forecast, statistical data on the actual incidence of HIV infection in the Kharkiv region from 2010 to 2016 were used.

Conclusions: The intelligent multi-agent approach to modeling the epidemic process of HIV infection suggested in the article allows calculating the predictive morbidity with high accuracy. Also, to identify the factors most influencing the dynamics of the epidemic process, which will allow to develop effective preventive measures to prevent the HIV epidemic in a given territory.

Поступил в редколлегию 14.09.2017

УДК 004.9:530.1



Н.Б. Шоховський, Р.М. Каминський, Є.О. Зособ

Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів, Україна, Natalia.b.shakhovska@lpnu.ua

МЕТОД ПОШУКУ АСОЦІАТИВНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ У ВЕЛИКИХ ДАНИХ

В роботі запропоновано метод пошуку Великих даних в умовах наявності різних джерел даних та різних методів опрацювання цих даних. Описано складові проблеми опрацювання різнотипних даних. Уведено поняття соціативної залежності, розроблено метод пошуку залежностей, визначено ефективність та можливості його розповсюдження. Здійснено порівняльний аналіз ефективності методів пошуку соціативних правил.

ВЕЛИКІ ДАНІ, АСОЦІАТИВНЕ ПРАВИЛО, ЗАЛЕЖНІСТЬ ДАНИХ, СКЛАДНІСТЬ АЛГОРИТМУ, ПАРАЛЕЛЬНЕ ОПРАЦЮВАННЯ

Шоховський Н.Б., Каминський Р.М., Зособ Є.О. Метод опису соціативних залежностей в Больших данных. В работе предложен метод поиска Больших данных в условиях наличия различных источников данных и различных методов обработки этих данных. Описаны составные проблемы обработки различных данных. Введено понятие социативной зависимости, разработан метод поиска зависимости, определены эффективность и возможности его распространения. Осуществлен сравнительный анализ эффективности методов поиска социативных правил.

БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ, АССОЦИАТИВНЫЕ ПРАВИЛА, ЗАВИСИМОСТЬ ДАННЫХ, СЛОЖНОСТЬ АЛГОРИТМА, ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Shakhovska N., Kaminsky R., Zsoba Ye. The method of associative rules mining in Big data. The paper proposes a method for Big data analyzing in the presence of different data sources and different methods of processing these data. The components of the problem of various data types processing are described. The concept of associative dependence was introduced, the method of finding dependencies was developed, efficiency and possibilities of its parallelism were determined. A comparative analysis of the effectiveness of methods for the search for associative rules is carried out.

GREAT DATA, ASSOCIATIVE RULES, DATA RISK, ALGORITHM COMPLEXITY, PARALLEL DEFENSE

Вступ

Сьогодні з'явилися опрацювання різноманітних неузгоджених інформаційних ресурсів (пошуку, системної інтеграції тощо) виникло досить багато. Так, для університету прикладом інтеграції є формування наукових звітів, визначення показників успішності та якості навчання, формування рейтингу кафедр тощо; для обласної адміністрації – це визначення критичних показників розвитку регіону на основі даних, отриманих з оргліній державної та недержавної форми власності.

Опрацюванням різнотипних неузгоджених даних дослідники займалися з 70-х років ХХ ст. Розроблені моделі та мови опрацювання різнотипних даних. Проте, існуючі на сьогодні моделі та методи стосуються лише перед відомих типів даних (здебільшого, реляційні бази даних), бо вирішують лише часткові задачі опрацювання різнотипних даних – наприклад, індексування для пришвидшення пошуку.

Тому виникла необхідність упродовження розробленою інформацією, саме її подання зрозумілому для користувачів вигляді (навіть якщо вони не знають особливостей оргліній структур цього джерела даних) та опрацювання (пошуку, інтеграції, видобування нових знань тощо).

Одним із базових завдань опрацювання різнотипних даних є їхня інтеграція. Розроблені на

сьогодні методи інтеграції даних з своєю функціональністю поділяються на дві типи: інтеграція веб-з'єднань та інтеграція на основі сховищ даних. Проте проведений аналіз літературних джерел показує, що для опрацювання інформації від усіх об'єктів галузі необхідно поєднати обидва типи інтеграції та вдосконалити наявні моделі даних.

Складові проблеми опрацювання різнотипних даних подано на рис. 1 [7].

Окремі предметні області, для яких актуальні задачі опрацювання даних з різнотипних джерел [8]:

- системи моніторингу та опрацювання новин (задачі визначення подібності подій на основі аналізу джерел, які ці події описували);

- системи нотування та реферування множини документів (визначення в галузі терміну та речення, яке входить у кінцевий реферат);

- галузі виробництва (ієрархічна структура даних, передчасна даних з групуванням на вищі рівні ієрархії, об'єднання поточкових даних та даних документообігу);

- медицина (визначення залежностей даних у невідомих джерелах);

- рекреаційно-туристичні сфери (обмін даними між туроператорами, інформаційними генціями, органами керування);



Рис. 1. Складові проблеми опрацювання різнотипних даних

— н уково-н вч льний процес (н ліз успішності студентів, облік публік цій, уч сті у конференціях, олімпі д х);

— н ліз н укових джерел (формув ння пок зник якості к федр; визн чення перспективності н укового н пряму, унік льності робіт н уковця, використ ння д них для міжг лузових досліджень).

Н ведені вище прикл ди перетин ються з іншим поширеним поняттям — Великі д ні [9].

Великі д ні (Big Data) в інформ ційних технологіях — н бір методів т з собів опр цюв ння структурованих і неструктурованих різнотипних дин — мічних д них великих обсягів з метою їх н лізу т використ ння для підтримки прийняття рішень. До цього кл су відносять з соби п р лельного опр цюв ння д них (NoSQL, лгоритми MapReduce, Hadoop). Визн ч ль-ними х р ктеристик ми для Великих д них є обсяг, швидкість, різном ніття.

Визн чено, що для предст влення Великих д — них використовують б г товимірну т об'єктну моделі. Б г товимірне предст влення д них добре використовув ти для з д ч візу ліз ції д них т їх н лізу, ле у зв'язку з розрідженістю гіперкуб обсяг д них у т кому вип дку є більший порівняно з реляційним предст вленням, що є неприпустимим до Великих д них. Об'єктне под ння д є змогу зберіг ти об'єкти предметної обл сті у вигляді трибутів, їх х р ктеристик т зв'язків між х р ктеристик ми. З певної модифік ції воно може бути використ не для Великих д них. Проте з лиш — ється нерозв'язною з д ч тр нсформ ції різних типів д них (текстових, н півструктурованих) в об'єктну модель.

Б г то існуючих методів н лізу д них неприд тні до з стосув ння для Великих д них, оскільки

- розмірність д них н дзвич йно велик ,
- з своєю структурою т через різном нітні джерел походження д ні є неочищеними, є б г то відхилень,
- необхідно з стосовув ти п р лельну обробку д них.

Тому метою ст тті є модифік ція методу пошуку соці тивних пр вил для роботи з Великими д — ними.

Пр вил соці ції т генер ція пр вил широко використовуються, і вони стик ються з б г тьм проблем ми, головним з яких є н явність великих д них т б г товимірних н борів д них [4]. Однопроцсорні системи з норм льною швидкістю процесор не можуть впор тися з т кими великими д ними, що робить лгоритм неефективним для використ ння. В ост нніх розробк х зрост ння мережевих технологій т особливо хм рних пл тформ д ло нові ідеї щодо генер ції мульти-трибутних пр вил, використовуючи п р лельне середовище, т ке як Hadoop [5]. MapReduce був популярним і більше використовув ним для обчислення великої кількості д них з тих пір, як компанія Google її з пустил н своїй пл тформі. Розподілен ф йлов систем Google (GFS) т веб-служб Amazon (AWS) використовують пл тформу Hadoop т MapReduce для н д ння своїх послуг.

У вип дку генер ції соці тивних пр вил в MapReduce, Mapper відповід є з з вд ння отрим ти різні комбін ції елементів як "ключ", "зн чення" використовується для відстеження кількості входів бо під р хунку підтримки. З д чею Редуктор є зменшити отрим ний від Mapper н бір для кожного ключового зн чення т обчислити ост точну підтримку для всіх н борів д них к ндид тів.

Т ким чином соці тивні првил можуть бути створені з мксимльною підтримкою твпевненістю.

Алгоритм Apriori мє великі проблеми з великими обсягами Big Data, оскільки він скнує всю бзу дних кільк рзів. Це ознчє, що чс виконння збільшується відповідно до кількості трнзкцій. У ншому дослідженні ми використовували Spark тїєрхїчний метод формування првил для покращення лгоритму Apriori.

Основний мтерїл

Визначення соці тивної з лежності

Введемо поняття соці тивної з лежності. Шукатимемо з лежність н відношенні r . Це відношення може бути сформоване як для реляційних джерел дних, ткі для нереляційних (NoSQL) шляхом формування призначень - нзвоб'єкт тїюх рктеристик. Для різних об'єктів кількїх рктеристик може бути різною. У т кому випадку відношення r формується як $CROSS(r)$. Длі по тексту вживатимемо тільки позначення r .

Асоці тивн з лежність (АЗ) — це продукційне првило в селекції відношення r , яке спрвджується для знчушої кількості об'єктів цієї селекції. Поріг знчушості повинен визначитись експертним шляхом, бо виходячи з розрхунків імовірності помилкового виділення цієї з лежності.

$$\begin{aligned} F_I(S;T):(s;t) &= (r_S(R);r_T(R)), \\ i &= \overline{1..n_s}, \forall i: A_i \in R, \\ j &= \overline{1..n_T}, \forall j: A_j \in R, \\ s &= r_S(R) = \sigma_{S(\{A_i\})}(r(R)), \\ t &= r_T(R) = \sigma_{T(\{A_j\})}(s), \end{aligned} \quad (1)$$

де S, T — предикти селекції умовної т результуючої стини відповідно, s, t — результти оперцій селекції з цими предиктми з основного відношення. Позначення $s(\{A_i\})$ ознчє, що предикт використовує множину трибутів $\{A_i\}$.

Основними прметрами трдиційних соці тивних првил є рівень довіри т рівень підтримки.

Рівень довіри — відношення кількості об'єктів, для яких мє місце т к АЗ до кількості об'єктів в селекції:

$$Conf(S \rightarrow T) = P(S \rightarrow T) = \frac{|\sigma_{S \wedge T}(r)|}{|\sigma_S(r)|}. \quad (2)$$

Рівень підтримки — х рктеристик предикт селекції н відношенні, що обчислюється як відношення кількості об'єктів, які з доволняють предикт Р до зг льної кількості об'єктів у відношенні:

$$Supp(P) = \frac{|\sigma_P(r)|}{|r|}. \quad (3)$$

У випадку обчислення рівня підтримки для АЗ умовний т результуючий предикт з лежності об'єднуються зн ком кон'юнкції:

$$Supp(S \rightarrow T) = Supp(S \wedge T) = \frac{|\sigma_{S \wedge T}(r)|}{|r|}. \quad (4)$$

З використанням цього поняття рівень довіри можн обчислити, як

$$Conf(S \rightarrow T) = \frac{Supp(S \rightarrow T)}{Supp(S)}. \quad (5)$$

Рівень покращення обчислюється, як відношення рівнів довіри т підтримки АЗ:

$$Imp(S \rightarrow T) = \frac{Conf(S \rightarrow T)}{Supp(T)} = \frac{Supp(S \wedge T)}{Supp(S) \cdot Supp(T)}.$$

Рівень підтримки т рівень покращення є "симетричними", тобто, $Sup(X \rightarrow Y) = Sup(Y \rightarrow X)$ т $Imp(X \rightarrow Y) = Imp(Y \rightarrow X)$. Те ж спрведливо й для повної взємної інформції. Рівень довіри є "нпрвленим" прметром, тобто, $Conf(X \rightarrow Y) \neq Conf(Y \rightarrow X)$. Цим пояснюється непряма з лежність інформ тивності від рівня довіри.

Розширено поняття R-"ціквості" соці тивного првил, яке використовується для відбору виявлених соці тивних з лежностей для скорочення їх кількості. R-"ціквість" визначється, як перевищення рівнем довіри бо підтримки очікуваних знчень у R рзів. Очікувані знчення розрховуються для соці цій, що мють не менше двох ознк у лівій чстині првил з припущенням, що вони стистично нез лежні. Інформ тивність дє змогу оцінити "ціквість" якщо, н приклад, рівень підтримки првил в R_1 рзів більший очікуваного знчення, рівень довіри — у R_2 рзів менший і нвпкі.

"Ціквість" соці ції визначється як перевищення інформ тивності соці ції очікуваного знчення. Т ким чином інформ тивність розглядається, як узг льнення поняття R-"ціквості" соці тивного првил.

Метод пошуку соці тивної з лежності

Побудуємо метод пошуку АЗ [3].

Вхідні дні

- Відношення $CROSS(r)$, схем R визначен лише н лізов ній селекції.
- Хеш-функції для кожного трибуту відношення R : $h_j(A_j)$.
- Порогове знчення рівня довіри з лежностей, що шукються — p_0 . З мість дного прметр рівноцінно може використовувтись кількість кортежів, н яких повинн бути визначеншук н з лежність — $\minSupport$.
- Порогове знчення рівня довіри з лежностей, що врховуються при утворенні нових з лежностей = p^* .

Вихідні дні

Множин соці тивних з лежностей, що відповідє вк з ним критеріям:

$$\{S_i \rightarrow T_i\}, \forall i: Conf(S_i \rightarrow T_i) \geq p_0$$

І етап. Аналіз вхідних даних.

1. Створити дерево хеш-т блиць статистики значень трибутів відношення. Хеш-т блиця кожного трибута A_j міститиме відповідність значень цього трибута структурі (кількість повторів значення; масив описів умовних значень інших трибутів). Опис умовних значень — хеш-т блиця значень трибута A_k та кількості їх повторень в множині кортежів $X = R_{A_j=x_j[A_j]}$.

Вершини правих рівнів дерев розгортаються по імені трибута, на який здійснюється проекція; лівих рівнів — значення трибута батьківської вершини.

Хеш-т блиці лівих рівнів дерев використовують наперед задані хеш-функції $h_j(A_j)$; для правих рівнів використовується внутрішня хеш-функція порівняння трибутів на рівність.

2. Зповнити структуру, описану в п.1. Зповнюється не все дерево повністю, лише гілки, що відповідають наперед заданому критерію якості з лежностей. Додаткове уточнення статистики можливе, використовуючи принцип відкладених обчислень:

- Для кожного кортежу $x \in r(R)$;
- Ініціалізувати поточну вершину дерева статистики v коренем дерев: $v = a$.
- Ініціалізувати $startAttr = 0$ — номер трибута, з якого починати розгортання дерев.
- Для кожного трибута $A_j \in R, j \geq startAttr$;
- Якщо не існує гілок дерева статистики $v[j][x[A_j]]$,
- Створити вершини $v[j]$ та $v[j][x[A_j]]$;
- Ініціалізувати трибути

$$\begin{aligned} v[j][x[A_j]].count &= 0, \\ v[j][x[A_j]].childs &= \emptyset, \\ v[j][x[A_j]].nextAttrId &= startAttr + 1, \end{aligned}$$

Якщо $v.count > splitThreshold$,

- Рекурсивно перейти до кроку 2d.

Таким чином, у структурі даних містяться елементи рідні з лежністю виду

$$A_j = x_i[A_j] \rightarrow A_k = x_i[A_k],$$

та кожній забезпечується можливість обчислення кількості кортежів довільних проекцій

$$\left| \sigma_{A_1=v_{i1} \wedge A_2=v_{i2} \wedge \dots \wedge A_l=v_{il}}(r) \right|.$$

3. Оголосити список з лежностей $z[l]\{S: set; T: set; NS: N; NT: N\}$. Кожній з лежностей передбачає собою структуру з трибутів: S — множин значень трибутів умовної частини з лежності, на яких вона визначена; T — множин значень трибутів результуючої частини з лежності, на яких вона визначена; NS — кількість кортежів, для яких з лежності спростовується; NT — кількість кортежів, для яких виконується умовна частин з лежності.

4. Зповнити список Z з лежностями $Conf(A_j = x_i[A_j] \rightarrow A_k = x_i[A_k]) \geq p_0$ проходженням по структурі даних.

II етап. Агрегування з лежностей.

1. Скопіювати список Z у окремий список з лежностей $Aggr$;

2. Оголосити хеш-т блицю h_{aggr} множин значень результуючих частин КАЗ. Це дасть змогу ефективно шукати АЗ, з якими можна агрегувати кожну конкретну з лежностей d_{aggr} ;

3. Для кожної з лежностей $z_1 \in Aggr$;

4. Для кожної з лежностей:

5. Утворити з лежностей $z_3 = z_1 + z_2$;

6. Якщо $Conf(z_3) \geq p^*$, додати z_3 в кінець списку $Aggr$ для подальшого агрегування з іншими з лежностями.

7. Знести з лежностей z_1 у хеш-т блицю h_{aggr} з ключем $h(z_1[PrT])$.

III етап. Побудова АЗ.

1. Оголосити список з лежностей y ;

2. Ініціалізувати $Y = Aggr$;

3. Оголосити хеш-т блицю результуючих частин предикатів для ефективного пошуку множин з лежностей, що мають однукову результуючу частину предикату;

4. Для кожної з лежностей $F_l \in Y$ знести АЗ F_l у відповідний список хеш-т блиці: $pr[h(F_l[PrT])]$.

Побудований алгоритм пошуку соціативних з лежностей дає змогу проводити ефективний аналіз однотипних даних на наявність АЗ, сумарний склад яких якого по частині складу є

$$\begin{aligned} t &= O\left(minSupport \cdot \left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{Z_d^2}{m \cdot D(A)} + \frac{Z_{aggr}^2 \cdot \log(sz_{aggr})}{m \cdot D(A)} \right) = \\ &= O\left(minSupport \cdot \left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{Z_{aggr}^2 \cdot \log(sz_{aggr})}{m \cdot D(A)} \right). \end{aligned}$$

Складність алгоритму по пам'яті рівна

$$\begin{aligned} M &= O(M_{stat} + M_{aggr} + M_{ma}) = \\ &= O\left(\left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + Z_{aggr} \cdot sz_{aggr} + Z_{ma} \cdot sz_{ma} \right) = \\ &= O\left(\left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + Z_{ma} \cdot sz_{ma} \right). \end{aligned}$$

Другий компонент суми домінується третьою як у випадку частини лізу, так і для використаної пам'яті. Порівнювати ж перший і третій член суми неможливо в загальному випадку: їхній розмір

по-різному з лежить від обсягу д них т структури д них.

Низьк симпатичн скл дність розробленого лгоритму виявлення АЗ т широкий н бір типів д них, що підтримуються для н лізу, д ють змогу з стосовув ти розроблений лгоритм пр ктично у всіх предметних г лузях, що пр цюють із соці - тивними з лежностями в д них.

Н ведемо ре ліз цію пошуку соці тивних з - лежностей в R:

```
install.packages("arules")
library(arules)
library(Matrix)
data("Adult")
## find only frequent itemsets which do not contain small or
large income
is <- apriori(Adult, parameter = list(support= 0.1,
target="frequent"),
appearance = list(none = c("income=small",
"income=large"), default="both"))
itemFrequency(items(is))["income=small"]

## find itemsets that only contain small or large income and
young age
is <- apriori(Adult, parameter = list(support= 0.1,
target="frequent"),
appearance = list(items = c("income=small",
"income=large", "age=Young"), default="none"))
inspect(head(is))
## find only rules with small or large income in the right-
hand-side.
rules <- apriori(Adult, parameter = list(support=0.2, confi-
dence = 0.5),
appearance = list(rhs = c("income=small",
"income=large"), default="lhs"))
inspect(head(rules))
install.packages("arulesViz")
library(arulesViz)
plot(rules, method="graph", control=list(type="items"))
plot(rules)
plot(rules, method="paracoord", control=list(reorder=TRUE))
```

Результ т н лізу под но н рис. 2.

Graph for 62 rules

size: support (0.202 - 0.506)
color: lift (0.989 - 1.265)

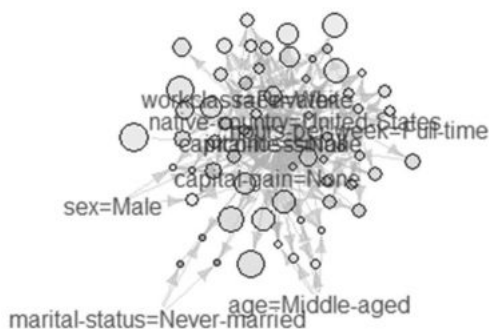


Рис. 2. Візу ліз ція зн йдених соці тивних з лежностей

Порівняльний н ліз лгоритмів виявлення соці тивних з лежностей у д них з кількісними критеріями

Для порівняння ефективності розробленого методу н лізу д них було обр но три н йближчих з

призн ченням методи: Apriori, HybridApriori т метод FP-tree.

З кількісні критерії було обр но кількість корисних з лежностей, відсоток корисних з лежностей у множині зн йдених з лежностей що виявив метод, т кож ч с н лізу д них.

Корисн з лежність – це з лежність у д них, як м є коефіцієнт корисності не менше 0.5 при оцінюв нні експерт ми предметної обл сті, тобто

$$\frac{\left(\frac{1}{n_e} \sum_{i=1}^{n_e} m_i\right) - markMin}{markMax - markMin} \geq 0.5,$$

де m_i – оцінк i -го експерт , n_e – кількість експертів, що беруть уч сть у оцінюв нні, $markMin$ – нижня гр ниця шк ли оцінюв ння, $markMax$ – верхня гр ниця шк ли оцінюв ння.

Тобто, корисними з лежностями вв ж ються ті, що експерти вв ж ють корисними для зн ння предметної обл сті.

Очевидно, для визн чення цієї оцінки експерт м необхідно про н лізув ти усі з лежності, зн йдені в д них втом тичними з соб ми н - лізу. Необхідність з лучення експертів н цьому ет пі (інтерпрет ція результатів) не є проблемою, оскільки з вд нням втом тизов них з собів н - лізу д них якр зі є висунення припущень про в жливів з кономірності в д них, не судження про в живісті зн йдених з лежностей. Тобто, інтерпрет ція результатів н лізу – все ще відповід льність людини.

Відсоток корисних з лежностей – відношення кількості з лежностей, що експерти вв ж ють корисними до з г льної кількості з лежностей, що зн йшов метод. Д ний критерій досить в живий, оскільки визн ч є коефіцієнт ефективності роботи експертів по інтерпрет ції д них. Очевидно, що метод н лізу д них, який зн ходить тисячі в живих з лежностей, ле “з гублених” поміж мільйонів очевидних ф ктів, не буде корисним і не може м ти пр ктичного з стосув ння.

Швидкість н лізу д них – відносно простий для вимірюв ння критерій і визн ч єтьс ч сом, необхідним обчислюв льній системі н викон ння з питу н лізу д них.

Тестув ння усіх методів відбув лось н тих же д них. Н бір д них, що використовується для цього прикл ду – це н бір д них «Adult», розміщений в Machine Learning Repository UCI. Він містить близько 2320000 спостережень з 15 змінними:

- age – вік людини,
- type_employer – тип роботодавця (фізичн чи юридичн особ , урядовець, військовий тощо,
- fnlwgt – кількість людей, що підтвердили істинність цього спостереження,
- education – н йвищий рівень освіти, досягнутий цією людиною,
- education_num – н йвищий рівень освіти в числовій формі,

- marital – сімейний стан,
- occupation – рід заняття,
- relationship – сімейні відносини,
- race – раса особи,
- sex – стать,
- capital_gain – з фіксований приріст капіталу,
- capital_loss – з фіксований капітальні втрати,
- hr_per_week – кількість відпрацьованих годин за тиждень,
- country – країна походження,
- income – булев змінна, так, якщо річний дохід особи більший за \$ 50000.

Результати з стосування розробленого методу генерування залежностей та порівняння його з існуючими подані в Таблиці 1.

Як бачимо, кількість знайдених залежностей не зростає експоненційно з лежністю від розміру вхідних даних, як можна було б припустити. Більше того, ця величина ще обмежена зверху деякою границею. Це можна пояснити тим, що дані, які були використані, досить однорідні.

Таблиця 1

Кількість знайдених корисних залежностей різними методами від об'єму проаналізованих даних

Кількість зписів	Розроблений метод	Метод FP-tree [2]	Метод Apriori	Метод HybridApriori [1]
200000	2856	2199	720	849
400000	5220	3627	888	1008
600000	6657	4530	1011	1158
800000	7656	5136	1053	1278
1000000	8043	5274	1104	1329
1242961	8184	5382	1125	1377

Тому в кожному наступному блоці даних все більше залежностей повторювалися із попередніх блоків, відповідно, ці дані не зумовлювали генерацію нових залежностей, лише збільшували рівень підтримки існуючих. Тільки залежності, що були слідом за змінами відповідати критеріям пошуку, і були додані у результуючу множину.

Ще одним фактором, що міг вплинути на кількість залежностей, було сортування даних по даті народження водія. Таким чином, кожен наступний блок даних усе ж вносив дійсно нові залежності, і їх не могло бути виявлено в попередніх блоках даних. Тому все ж можна припустити, що кількість залежностей необмежена зверху якоюсь чіткою межею, але прямує до прямо пропорційної залежності із досить малим кутовим коефіцієнтом від кількості кортежів даних.

Для даних, що мають практичну цінність, кількість залежностей Z_{aggr} складатиме не більше декількох тисяч у той час, як кількість кортежів n може обчислюватися мільярдами. Тому у випадку практичних обчислень значущої кількості комп'ютерів другим членом функції t_n можна знехтувати. З тих же міркувань $\log_2(n) = o(\minSupport)$.

Таким чином, асимптотичні оцінки часу виконання алгоритму на системі із k комп'ютерів складатимуться

$$t_n = O(\minSupport^{-\log_{avgD}(n)})$$

Отримані оцінки часу виконання алгоритму є субполіноміальною, отже, розроблений алгоритм є ефективним практичним алгоритмом.

Розроблений алгоритм дозволяє стверджувати, що за допомогою соціативних залежностей у розподілених базах даних не лежить докласти P -залежності. Отже, алгоритм пошуку соціативних залежностей добре вирішує задачу з допомогою MapReduce.

Крім кількох послідовних реалізацій, практичні реалізації для роботи з великими даними не є широко доступними. Одним із прикладів серійної реалізації добре відомий статистичний обчислення з пакетом R, що називається «arules».

Практичні реалізації програм FP-Growth доступні в бібліотеці для вивчення комп'ютерів з відкритим вихідним кодом (MLlib) Apache Spark та Apache Mahout.

Висновки

Асоціативні правила соціативні широко використовуються у великій кількості додатків. Наш алгоритм може бути використаний в деяких з цих програм, в яких використання традиційних алгоритмів не є життєздатним через величезну кількість даних, які потрібно обробляти. Це може бути дуже корисним, наприклад, у сенсорних мережах, які генерують величезну кількість даних з короткими проміжками часу, або в соціальних мережах, у яких є мільйони користувачів. Нерештлі, слід зазначити, що ці процедури можна з'єднати з іншими методами видобування даних, які використовують правила соціативні, такі як винятки та норми [4], поступові залежності [5, 6] тощо.

Список літератури: 1. Zaki, M. J. (2000). Scalable algorithms for association mining. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 12(3): 372–390. 2. J. Han, H. Pei, and Y. Yin. Mining Frequent Patterns without Candidate Generation. In: Proc. Conf. on the Management of Data (SIGMOD'00, Dallas, TX). ACM Press, New York, NY, USA 2000. 3. Пшеничний О. Ю. Методи та програми з безпечення виявлення кон'юнктивних соціативних залежностей у великих системах даних: вступна дисертація здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 01.05.03 – методи та програми з безпечення обчислювальних систем і систем / Олександр Юрійович Пшеничний; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2012. – 24 с. 4. Delgado, M., Ruiz, M.D. & Sanchez, D., New approaches for discovering exception and anomalous rules. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 19(02), pp. 361–399, 2011. 5. Berzal, Fernando, et al., A new framework to assess association rules. In *Advances in Intelligent Data Analysis*, Springer Berlin: Heidelberg, pp. 95–104, 2001. 6. H. Ilrmeier, E., Association rules for expressing gradual dependencies. In *Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*, Springer Berlin:

Heidelberg, pp. 200–211, 2002. 7. Ш ховськ Н.Б. Програмне алгоритмічне забезпечення сховищ даних: Монографія / Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2010. – 194 с. 8. Ш ховськ Н.Б. Структурні аспекти простору даних // Складні системи і процеси. – 2008. – № 1. – С. 73–86. 9. Big Data Dimensions, <http://www.klarity-analytics.com/392-dimensions-of-big-data.html> 10. Agrawal, Rakesh, Imielinski, Tomasz & Swami, Arun, Mining association rules between sets of items in large databases. *ACM SIGMOD Record*, 22, pp. 207–216, 1993.

RESUME

N.B. Shakhovska, R.M. Kaminskiy, Eu.O. Zasoba
The method of associative rules mining from Big data

The paper proposes a method for analyzing Big data in the presence of different data sources and different methods of processing these data. It is determined that multidimensional and object models are used to represent the Great Data. The multidimensional view of the data is well used for data visualization and analysis tasks, but due to the hypercube dissipation, the amount of data in this case is greater than the relational representation that is not acceptable to the Big Data. Object representation allows you to store object in the form of attributes, their characteristics and relationships between characteristics. For some modification, it can be used for Big

Data. However, the problem of the transformation of various types of data (text, semi-structured) into an object model remains unresolved. Associative rules are widely used in a large number of applications. The notion R- “curiosity” of the associative rule is expanded, which is used to select identified associative dependencies to reduce their number. R- “curiosity” is defined as an excess of trust or support of the expected values in R times. Expected values are calculated for associations with at least two attributes on the left side of the rule with the assumption that they are statistically independent. Informativity allows to evaluate “curiosity” if, for example, the level of support rule in R1 is more than expected value, and the level of trust - in R2 times more than the other and vice versa. Our algorithm can be used in some of these programs, in which the use of traditional algorithms is not viable because of the huge amount of data that needs to be processed. This can be very beneficial, for example, in sensor networks that generate a huge amount of data at short intervals or in social networks that has millions of users. Finally, it should be noted that these procedures can be used in general to other methods of data mining using the right-wing associations, such as exceptions and anomalies, gradual dependencies etc. The concept of associative dependence is introduced, the method of finding dependences is developed, efficiency and possibility of its parallelization are determined.

Поступил в редколлегию 14.09.2017

УДК 004.8



К.Ю. Тітов

ХНУРЕ, м. Херсон, Україна, kyrylo.titov@nure.ua

ПЕРСОНАЛЬНИЙ НОВИННИЙ ФІЛЬТР, СТОРЕНИЙ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНИХ ОБЧИСЛЕНЬ І СЕМАНТИЧНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

У даній статті були досліджені проблеми обробки багатоспектної новинної інформації із різних джерел, та кожний метод фільтрації отриманої інформації. Також були розглянуті методи штучного інтелекту, з допомогою яких можливо вирішити дані проблеми. В статті викладений один із варіантів вирішення проблеми фільтрування новинної інформації з допомогою семантичного порталу та інтелектуальних сервісів від компанії IBM Watson. Метою даної статті є дослідження методів семантичного аналізу новинного контенту з різних джерел на основі перетворення інформації в онтологічну форму подання, та кожний розроблений метод отримання та обробки новинної інформації.

SEMANTIC WEB, OWL, RDFS, XML, IBM WATSON, ФІЛЬТРАЦІЯ, НОВИНИ, ОБ'ЄКТИВНІСТЬ, НЕУПЕРЕДЖЕНІСТЬ

Титов К.Ю. Персональний новостной фильтр, созданный на основе технологий когнитивных вычислений и семантической обработки информации. В данной статье были исследованы проблемы обработки многоспектрной новостной информации из различных источников, также методы фильтрации полученной информации. Также были рассмотрены методы искусственного интеллекта, с помощью которых можно решить данные проблемы. В статье изложен один из вариантов решения проблемы фильтрации новостной информации с помощью семантического портала и интеллектуальных сервисов от компании IBM Watson. Целью данной статьи является исследование методов семантического анализа новостного контента с различных источников на основе преобразования информации в онтологическую форму представления, также рассмотрен метод получения и обработки новостной информации.

SEMANTIC WEB, OWL, RDFS, XML, IBM WATSON, ФИЛЬТРАЦИЯ, НОВОСТИ, ОБЪЕКТИВНОСТЬ, БЕСПРИСТРАСТНОСТЬ

Titov K.Yu. Personal news filtering based on cognitive computing and semantic technologies. In this article the problems of processing multidimensional news information from different sources and methods of filtering the received information were investigated. Also, the methods of artificial intelligence which help to solve these problems were considered. The article outlines one of the approaches to resolve the problem of filtering the news information using the semantic portal and intelligent services from IBM Watson. The purpose of this article is to investigate the methods of semantic analysis of the news content from various sources based on the transforming the information to the ontological form of representation as well as to develop a method for solving the problem of the obtaining and processing the news information.

SEMANTIC WEB, OWL, RDFS, XML, IBM WATSON, FILTERING, NEWS, OBJECTIVITY (UNBIASED)

Вступ

У сучасному світі користувачі можуть отримувати новини із багатьох різних джерел, як класичних – газети, журнали тощо, так і сучасних – електронні видання, новинні сайти тощо. Але зростаючі інформаційні потоки дуже відрізняються від колишніх, саме об'єм інформації, що надходить. Тисячі журналів та репортерів збирають та обробляють інформацію по всьому світу, але усі вони різні. Деякі сумлінно виконують свою журналістську діяльність, деякі з робляють цим гроші, деякі можуть бути частиною пропагандистської машини тієї чи іншої країни, організації тощо, тим самим впливаючи на соціальні, політичні та економічні спектри життя. Саме тому сьогодні витрачаються багато коштів з метою пошуку варіантів вирішення питань надання користувачам доступу до об'єктивної інформації, зменшення впливу пропаганди всередині країни та з боку інших країн.

Зростає потреба в можливості отримувати новини з персональними вподобаннями,

рекомендації по ключовим словам не беруться до уваги, але деякі компанії, які займаються дослідженнями та розробкою систем та сервісів на основі штучного інтелекту, можуть передбачати сервіси, з допомогою яких ми зможемо отримувати семантичний опис статті або відео. З допомогою цієї інформації користувач зможе отримувати найбільш цікаві для себе новини.

Обробка, аналіз та фільтрація таких величезних масивів новинних даних з допомогою методів штучного інтелекту є актуальною темою для сучасного світу.

1. Методи та технології отримання та обробки новинної інформації

Найперші фільтруючі системи обговорювалися Гансом Луном у корпорації IBM у 1958 році. Було визначено, що в майбутньому значно збільшиться об'єм обміну електронною інформацією. В той час вчені запропонували систему бізнес-аналізу для наповнення відповідної інформації користувачем та групами у промислових, наукових та

держаних оргнізіах. Проте основна відмінність між інформаційно-пошуковою системою та системою фільтрування полягає в тому, що в першій поширені інформації, що є однією із головних її відмінностей. Систему складено з механізму створення профілів інтересів для кожної окремої людини або групи користувачів, ІР-техніки відіграє в ній живу роль у виявленні нової інформації, яку слід було розповсюджувати.

Проблема фільтрування була популярною протягом 60-х та 70-х років як вибіркове розповсюдження інформації. Підтримуючи сучасну освіту в наукових та технологічних сферах та кімплі як NASA і GM інвестували в дослідження та розробку систем, які розповсюджують відповідну інформацію своїм працівникам. Основна мета вибіркового розповсюдження інформації полягає в тому, щоб забезпечити регулярне сповіщення працівників, коли надходять нові документи, які вважались цінними для користувачів, саме з метою тематичного інтересів була чітко визначена користувачем.

В той час як системи фільтрування інформації були розроблені для електронних листів, зокрема для фільтрування електронної пошти через спам, з'явився новий проблем пов'язаний з перевантаженням інформації, пов'язаний з впровадженням концепції web 2.0, соціальних мереж, форумів тощо. Такі платформи як Twitter, Facebook та Google, генерують величезну кількість різноманітного контенту щодня.

Сучасні методи фільтрації складуються з наступних модулів:

1. Моделювання інтересів користувачів: тут система визначає інтереси користувача;

2. Аналіз даних: на цьому етапі система налізує вхідні дані і предствляє їх відповідно до вимоги модуля фільтрації;

3. Фільтрація: система порівнює подання вхідних даних і профіль користувача, що предствляє інтерес для визначення релевантності отриманої інформації;

4. Навчання та модифікація: навічання та зміна інтересів користувача з плином часу.

Однією із форм предствлення новин є новинні сайти, вони розділяються на тематичні категорії та підкатегорії. Інший варіант це новинні пошукові системи, які дозволяють користувачу шукати новини з термінами що предствляють інтерес для користувача. У відмінності від новинних сайтів пошукові системи дозволяють персоналізувати пошук – користувач сам може налаштувати свій профіль, вибираючи теми інтересів тим самим підбираючи систему в яких тематичних категоріях слід шукати інформацію. Іноді персоналізація виконується з допомогою методів сумісної фільтрації так як наприклад google-новини. Такі інтересивність є в живою додатковою функцією для залучення нових користувачів та поліпшення якості надання новинного контенту.

Сучасні рекомендаційні системи мають низку недоліків, однією із найбільш живіших є відсутність

дефектної моделі даних. Профіль користувача може бути побудований з його явними та неявними уподобаннями, бо на основі їх комбінації. Є три основні методи побудови рекомендацій для користувача:

1. На основі контенту – система робить висновки на основі статей, які сподобались користувачу у минулому;

2. Колоборотний метод фокусується не на самому предметі пошуку, рекомендує елементи, які сподобались користувачу з подібними вподобаннями;

3. На основі знань, використовують знання не тільки о вподобаннях користувача, а й знання о предметі пошуку.

Як тільки утворюється профіль системи з створює одну або декілька методик для створення рекомендацій для користувача. Усі ці методи можуть бути поєднані з метою отримання найбільш релевантного результату.

В Голландському університеті Роттердама в межах курсу «Advanced Software Architecture» розробили новинний портал який налізує в RSS-стрічки, та конвертуючи інформацію у онтологію надана користувачу новини згідно із їхніми вподобаннями. Система з метою рекомендацій новин спочатку моделює поведінку користувача, налізуючи та зберігаючи історію перегляду новинних сайтів та RSS-стрічок. Далі вона предствляє отриману інформацію у онтологічному вигляді. Зокладаючи змодельованому профілю системи рекомендує новинний контент, який був би цікавим для користувача. Основною метою розробки даної системи було виявлення найбільш оптимальної технології для розробки рекомендаційних новинних систем. Згідно із проведеними дослідженнями було виявлено, що системи зокладаючи онтології працюють краще ніж їхні аналоги які не використовують онтологічний підхід.

У цій статті ми рекомендуємо зокладаючи онтологію для опису предметної області «новини» та побудови фільтрів користувача на основі цієї онтології. Онтологія дозволяє зменшити простір пошуку, та полегшити процес отримання новин з вподобаннями користувача. Однією з важливих переваг онтологічного підходу є те, що він не використовує колоборотну фільтрацію, він зокладаючи знання о предметі та вподобаннях користувача описує їх в онтології. Для опису властивостей новинної статті бо її впровадження у створення онтології ми використовуємо покращений інтелектуальний сервіс IBM Watson – Personality Insights [1].

2. Опис інтелектуального сервісу personality insights від IBM Watson

IBM – є однією з найбільш розвинутих корпорацій, яка вже понад сто років очолює технологічний прогрес. Одним з найцікавіших та відомих проєктів останніх років став IBM Watson.

Це когнітивна система, яка може навчатися, розуміти та робити висновки. В рамках цього проєкту

бул розроблен низк інтелектуальних сервісів серед яких є Personality Insights.

Служб IBM Watson Personality Insights предстляє собою зручне API, яке є предствленням охрактеристик хособистості з соціальних мереж, корпоративних даних бо інших цифрових джерел. Сервіс використовує лінгвістичну політику для визначення храктеристик особистості. Також він може визначити вподобання користувача, для політики маркетингу, впливу реклами тощо. Служб дозволяє проводити політику великим компаніям для більш повного та глибоко розуміння своїх клієнтів незважаючи на галузь у якій вони працюють. Звдяки цьому корпоративні компанії можуть поліпшувати якість обслуговування та надання послуг, дптувати свої продукти під цільову аудиторію.

IBM провело низку досліджень для того щоб зрозуміти чи можуть храктеристики особистості, отримані із соціальних мереж передбачити поведінку та вподобання людей. Отримані результати показули що людина як схильна до збудження з більшою ймовірністю відгукнеться на нові маркетингові кроки, так само як люди із високими показниками тих якостей як скромність, відвертість та дружелюбність із великою ймовірністю будуть поширювати цікаву інформацію серед знайомих. Усі ці дослідження були перевірені та підтверджені тестовими опитуваннями учасників. Після цього був проведений аналіз понад 600 твітів, який показує, що індивідуальні храктеристики, отримані службою Personality Insights, можуть передбачити вподобання користувача із точністю близько 70%.

Personality Insights під силу втомичний вивід із потенційно-з шумлених соціальних мереж портрети людей, які відображують їх індивідуальні храктеристики. У 2016 році журналістський видання NPR Арти Шухни проаналізувала з допомогою сервісу свої коментарі у соц-мережах та з її слів ми вон отримали дуже точну храктеристику самого себе. Шухні була здивована такою точною оцінкою особистості, тому що її коментарі з twitter та facebook дуже сильно різнилися.

Сервіс Personality Insights розпізнає храктеристики особистості з текстової інформації (статті бо інші публікації), втом якої є особа яку ми аналізуємо. Спочатку сервіс розмічує текст для створення предствлення у п-мірному просторі. Сервіс використовує технологію word-embedding, з відкритим вихідним кодом, для того щоб отримати векторне предствлення для усіх слів з тексту. Далі Personality Insights передє це предствлення алгоритмом шинного навчання, який описує профіль особистості із його храктеристик. Для навчання алгоритму сервіс використовує оцінки, отримані з опитувань, проведених серед тисяч користувачів, та кожних коментарів twitter.

Вживлю, що під час тестів, IBM встановили, що храктеристики особи, отримані з текстів, можуть точно передбачити різноманітні храктери людей та їх поведінку. Звдяки цьому ми можемо

отримати храктеристику та будь-якого втомного новинного статті, сюжетів, досліджень, тощо [2].

3. Створення онтології предметної області

Semantic Web можливо розглядати як розширення звичайного Web, в якому документи можуть не тільки переглядати людиною, але, і з безпечені метописи, що з безпечує втомичну обробку цих документів. Технології Semantic Web орієнтовані на обробку контенту на семантичному рівні. Автором цієї концепції є Т.Бернес-Лі - розробник сучасного Web. Дані концепція просується Консорціумом W3C, який очолює Т.Бернес-Лі.

Технології Semantic Web, дозволяють формалізувати знання про предметну галузь таким чином, щоб вони могли оброблятися і людиною, і комп'ютерною системою. Для цього використовують онтології. Одним з можливих вирішень проблеми обробки великих масивів неоднорідної і розподіленої інформації новинного контенту є подання інформації в онтологічній формі і подальша обробка семантики отриманої інформації [3].

Під час дослідження з пропонує вирішувати проблему контролю якості наданого новинного контенту з допомогою веб-системи, яка здатна накопичувати, як сам новинний контент, так і метаконтент, який може вказувати на достовірність новинної інформації.

Рішення бзується на використанні онтологічного порталу оцінки якості новинного контенту, який будується з прикладом вже існуючої платформи – порталу, який був розроблений в міжнародному проекті Tempus «Національна система з безпечення якості і взаємної довіри в системі вищої освіти (TRUST)» як технічний засіб підтримки і гармонізації процесів з оцінки і з безпечення якості вищої освіти.

Технологію побудови тих порталів створено для прозорого накопичення та обміну інформацією, що має з безпечити можливість широкого та неупередженого контролю з її якістю. Подібні системи посилюють соціальний вплив на оцінку інформації та унеможливають контроль з нею лише з цікавленою стороною. Для цього подібні системи будуються з принципів соціальних мереж. Користувачі порталів є головними постачальниками контенту та контролерами його достовірності (механізми соціальної верифікації). Однак, окрім соціальної верифікації контенту, в запропонованому порталі існують механізми і інструменти втомичного аналізу достовірності наданої інформації.

Портал дозволяє створювати і згосовувати різні системи цінностей у вигляді гнучких багатовимірних показників якості, зв'язаних з ступенем їх вживості для речування з пити. Таким чином, кожен користувач може оцінити якість деяких ресурсів з різних точок зору, так званих «систем цінностей» користувача, який робить оцінку [4].

Порт л пр це відповідно до інформ ції, що зберіг ється в її онтологічній б зі зн нь. Онтології використовуються для опису с мого порт лу: його рхітектури і функціон льності, т кож для відкритого і гнучкого зберіг ння інформ ції, що н - д ється користув ч ми. В живую особливістю рхітектури порт лу є його гнучкість, як досяг - ється з р хунок розподілу описів с мого порт лу т предметної обл сті н дві окремі онтології:

1. Сервісн онтологія містить допоміжні кл си і вл стивості для системної бізнес-логіки, підтримки реєстр ції ресурсів, бізнес- н літики, рейтингу і т.д. Вон спроектон н для використ ння в якості основної нез лежної структури, досить гнучкої для вз ємодії з онтологіями, які описують будь-який можливий домен в системі менеджменту ресурсів підтримки моніторингу якості;

2. Доменн онтологія включ є в себе:

– ядро (визн ч є поняття і вл стивості, які використовуються для оцінки якості);

м ш р користув ч (який кожн орг ніз ція може гнучко д птув ти до вл сних умов бо кожен користув ч може д птув ти до вл сних впо- доб нь);

– системи цінностей (як визн ч є в гові ко- ефіцієнти для різних пок зників якості в різних контекст х);

З вдяки гнучкій структурі побудови порт лу з р хунок поділу н дві окремі онтології сервісн і доменну порт л може бути повністю змінений шляхом простої модифік ції доменної онтології. Сервісн онтологія зд тн вз ємодіяти із онтологіями, які описують будь-яку г лузь, відмінну від вищої освіти, в якій т кож існують численні ресур- си, які потребують оцінки (бізнес, виробництво, медици н , меді).

Основними компонент ми новинної онто- логії є поняття, відносини, екземпляри т ксіо- ми. Поняття предст вляють собою н бір бо кл с сутностей у меж х новинної обл сті. Кожен кл с, визн чений в онтології, описує з г льні х р ктеристики індивідів. Н йбільш фунд мент льні по- няття відповід ють кл с м, які зн ходяться в ко- рені різних т ксономічних дерев. Кожен індивід в світі OWL є членом кл су owl:Thing. Т ким чи- ном, кожен певний кл с втом тично є підкл сом owl:Thing. Специфічні для д ної обл сті кореневі кл си визн ч ються простим оголошенням імено- в ного кл су. Н прикл д т кі кл си як втор, ви- д ння, ст ття тощо.

Т кож онтології включ ють у себе відношення поміж кл с ми бо вл стивостями. Ієр рхія кл сів визн ч ється шляхом вк зув ння що кл с є підкл - сом іншого кл су, т ким чином кл с «публік ції втор » м є декільк підкл сів.

Кореневим кл сом створеної онтології є « втор публік ції», який м є три підкл си – х р ктеристики особистості втор , уподоб ння користув ч т ціннісні х р ктеристики. Ці підкл си є основними логічними розділ ми сервісу Personality Insights,

які включ ють в себе більш дет льні х р ктерис- тики, для опису індивіду льності втор ст тті. Усі х р ктеристики зобр жені н рис. 1.

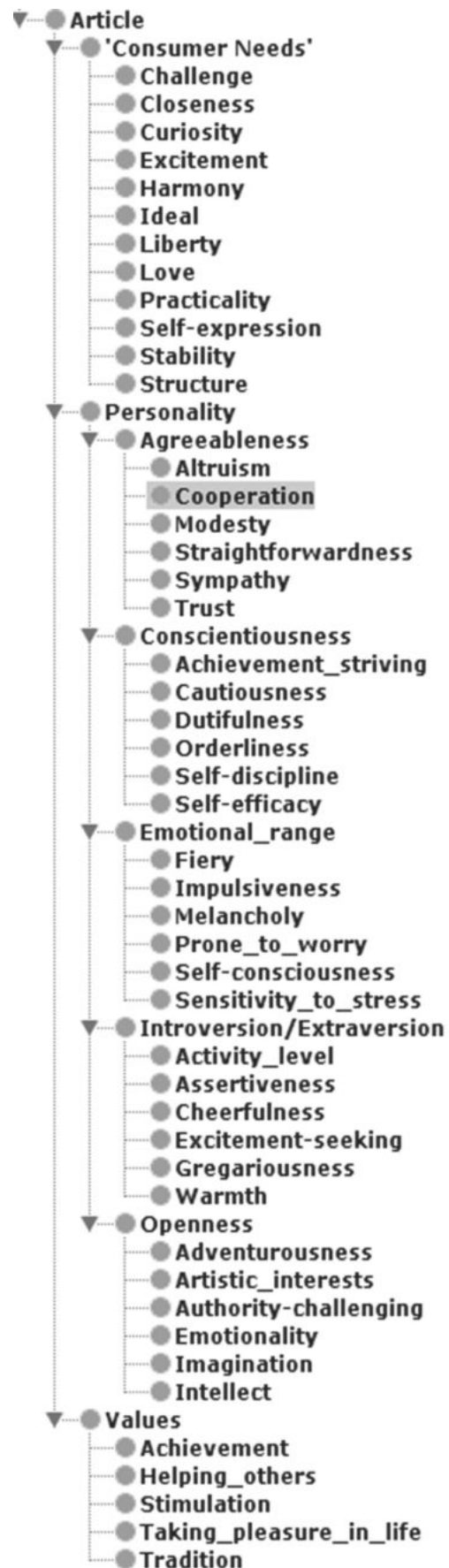


Рис. 1.

4. Анліз фільтр ція отриманої новинної інформації

Комбінуючи портл т сервісу Personality Insights, який н д є зручний API для інтегр ції з в шими проект ми. Д лі з вдяки сервісу інтегров ному в порт л було про н лізов но близько дв дцяти новин які вже були визн ні як не відповід ючи дійсності. Отрим вши н ліз цих новин вд лося вст новити що більшість з них м ли дост тньо високі пок зники емоційності, з вдяки т ким х р ктеристик м як рівень до з кліків бо імпульсивність вир зів у тексті. Дост тньо великими були й пок зники відкритості ле тільки т ч стин як х р ктеризує вторит рність т творчість висловлюв нь. Х р ктеристики які описують потреби користув ч н вп ки були дост тньо низьким. Т кі пок зники як пристр сть до свободи, любові, іде лів бо г рмонії не н бр ли н віть и 15%. Стиль н пис ння ст тей був простим т доступним з для охоплення більшої м си людей. Тобто про н лізов ні новинні ст тті м ли низьку схожих х р ктеристик і м ло індивіду льних відмінностей. З вдяки цьому можливо зробити висновок що технології створення непр вдивих новин схожі т м ють певні озн ки т кі як гресія, велик кількість з кліків, упередженість т висок емоційність ст тей. Н ступним кроком було провести н ліз новин декількох новинних гентств т ких як CNN BBC т RT і отрим ти для кожної з них певну х р ктеристику у вигляді ді гр ми, одн з них зобр жен н рис. 2, і згодом поч ти фільтрув ння новинного контенту с ме цих трьох гентств.

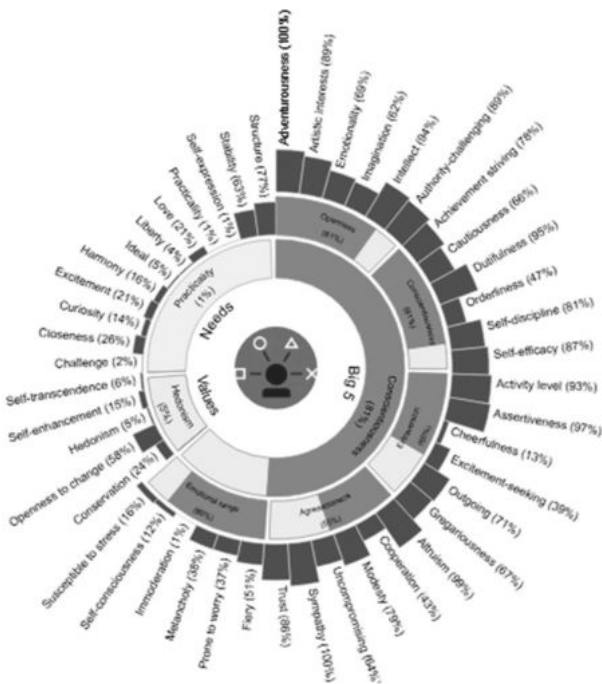


Рис. 2.

Інтегрув вши розроблену онтологію до порт лу користув ч отрим в можливість н л штовув ти вл сні системи цінностей з вл сними

вподоб ннями, для цього він повинен вибр ти н йв живіші для нього х р ктеристики і з д ємо поріг проходження. Процес н л штовування зобр - жений н рис.3.

Рис. 3.

У порт лі для вищої освіти вплив ст тті (impact) визн ч ється кількістю чит т і к тегорією журн - лу. Отже для н лізу публік цій (рейтингу) в ЗМІ ми н д ли можливість рейтингув ти ст тті з використ нням зовнішніх експертів, т ких як сервіс від IBM Watson Personality Insights. Це д є можливість отримув ти х р ктеристики бо озн ки новинних ст тей т інших публік цій т кі як ф льш, гресія, емоційність і т.д., з н дійного джерел (IBM Watson). Потім користув ч фільтрує отрим ну інформ цію в з лежності від особистих уподоб нь з допомогою н л штовування фільтрів особистих перева г. IBM Watson - жорсткий фільтр, порт л н д є можливість створити вл сний гнучкий фільтр з вдяки персон лізов ному нстроюв нню в гових коефіцієнтів. У свою чергу чит чі можуть використовув ти з вдяки порт лу низьку фільтрів н прикл д — ми хочемо чит ти новини від вто р який м є вищу освіту, м ксим льно відкритим згідно персон льних х р ктеристик втор т який відповід є моїм іде л м т ким як — свобод т відкритість.

Висновки

У ст тті було розглянуто можливість з міні онтології, як описує к демічну г луз н онтологію новин н основі інтелекту льного сервісу від IBM Watson. Інтегрув ли сервіс до порт лу т провели н ліз близько шести десятків новинних ст тей. Розроблений сервіс н д є зручний інструмент рій для обробки т н лізу новинного контенту.

З стосовуючи для ре ліз ції сем нтичного фільтру новинної інформ ції інтелекту льні технології ми м ємо великі можливості по вдоскон - ленню сервісу. Н прикл д ми можемо розширити онтологію, доповнюючи її новими поняттями. Це допоможе н м оцінюв ти не тільки ст тті бо вто рів, й комп нії, в яких ці журн лісти пр цюють, їх джерел фін нсування, з нг жов ність бо кількість непр вдивих бо необ'єктивних новин

опублікованих цими компаніями. Тож можливо підключити додаткові інтелектуальні сервіси IBM Watson такі як Tone Analyzer, завдяки чому сервісу можливо оцінити в якому емоційному тоні написаний текст статті. Або Discovery News з допомогою якого можна здійснювати пошук та віджетування новин згідно із пошуковими запитаннями користувача. Для того щоб сервіс міг в змозгу шукати та аналізувати новини різних мов х можливо інтегрувати до порталу сервіс Language Translator, який в свою чергу може бути комбінований з іншими сервісами від IBM. Підключення сервісу Visual Recognition надасть можливість аналізувати не тільки текстовий контент але й фотографії зроблені в місці подій. Використовуючи можливості порталу ми зможемо робити висновки об'єктивності інформації з допомогою експертів. Вибір експертів може спиратися на особисті вподобання користувача – з його особистою системою цінностей. Тоді сервіс може стати у нагоді в новій галузі – журналістикі, де журналіст включив обробку великого об'єму інформації, що не під силу звичайному журналісту.

В майбутньому, тоді, планується підключити новинне API або RSS-стрічку для віджетування цієї процесу отримування та обробки новинної інформації.

Список літератури: 1. Personality Insights, documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://console.bluemix.net/docs/services/personality-insights/getting-started.html#getting-started-tutorial> 2. The science behind the service [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://console.bluemix.net/docs/services/personality-insights/science.html#science> 3. H. Wache, T. Vugele, U. Visser,

H. Stuckenschmidt, G. Schuster, H. Neumann, and S. Hübner, «Ontology-based Integration of Information - A Survey of Existing Approaches,» In: Proceedings of IJCAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing, Seattle, WA, 2001, Vol. pp. 108-117. 4. Terziyan V., Golovianko M., Shevchenko O., Semantic Portal as a Tool for Structural Reform of the Ukrainian Educational System, In: Information Technology for Development, Vol. 21, No. 3, 2015, Taylor & Francis, pp. 381-402.

Resume

Titov K.Y.

PERSONAL NEWS FILTERING BASED ON COGNITIVE COMPUTING AND SEMANTIC TECHNOLOGIES

Background: Now the information flows are extremely different from the previous ones, especially regarding the volume of incoming information. Therefore, processing, analyzing and filtering huge data sets with using the artificial intelligence methods is an actual topic for the modern world.

Materials and methods: This article explores the problems of processing the multidimensional news information from different sources, as well as the methods of filtering the information received.

Results: The artificial intelligence methods were analysed from a perspective to apply those for solving the problems of processing large data arrays of heterogeneous and distributed information of the news content. It was ascertained that for the processing of large arrays of news content it is necessary to represent the information in ontological form for more convenient and precise further processing of the semantics of the received information.

Conclusion: The article outlines one of the solutions of the problem of filtering news information using the semantic portal and intelligent services from IBM Watson.

Ндійшло до редакції 20.09.2017

УДК 51-77 : 331.108.242



Н.О. Манков¹, А.А. Євдокимов², В.П. Манков³, І.І. Циганенко⁴

¹ ХНУМГ ім. О. М. Бекетов, м. Херсон, Україна, natalymanakova@gmail.com

² ХНУМГ ім. О. М. Бекетов, м. Херсон, Україна, evdokimo-andre@yandex.ru

³ ХНУРЕ, м. Херсон, Україна, volodymyr.manakov@knure.ua

⁴ ХНУМГ ім. О. М. Бекетов, м. Херсон, Україна, macnat@rambler.ru

ДИЗАЙН ФРЕЙМВОРКУ АНАЛІЗУ ДАНИХ ЩОДО ПЛИННОСТІ КАДРІВ МЕТОДАМИ DATA MINING

В роботі проведено огляд методів Data Mining, для рішення кадрових питань, зокрема прогнозування «н міру звільнитися». Розуміння того які фактори вплинули на рішення працівника звільнитися, бо він покиде підприємство, незважаючи на те, що він мав міру звільнитися, дуже важливо для вибудовування кадрової політики підприємств. В цій роботі ми зосереджені на прогнозуванні «н міру звільнитися», що є скоріше когнітивним чим кількісним поняттям, тим самим ускладнюючи тематичний вимір. Розроблений дизайн фреймворк дослідження готовності до звільнення з власним бажанням економічно активних верств населення. Цей фреймворк призначений для вивчення взаємозв'язку між соціальним обміном і особистістю в прогнозуванні міру звільнитися.

НАМІР ЗВІЛЬНИТИСЯ, ОБОРОТ КАДРІВ, ПЛИННІСТЬ КАДРІВ, РУХ ПЕРСОНАЛУ, DATA MINING

Манков Н.О., Евдокимов А.А., Манков В.П., Циганенко И.И. Дизайн фреймворка анализа данных о текучести кадров методами Data Mining. В работе проведен обзор методов Data Mining для решения кадровых вопросов, в частности прогнозирования «нмерения уволиться». Понимание того какие из факторов повлияли на решение работника уволиться, или на оборотостаться, несмотря на то, что он хотел уволиться, очень важно для построения кадровой политики предприятия. В этой работе мы сосредоточены на прогнозировании «нмерения уволиться», что является скорее когнитивным чем количественным понятием, тем самым усложняя тематические измерения. Разработан дизайн фреймворк исследования готовности к увольнению по собственному желанию экономически активных слоев населения. Этот фреймворк предназначен для изучения взаимосвязи между социальным обменом и личностью в прогнозировании нмерения уволиться.

НАМЕРЕНИЕ УВОЛИТЬСЯ, ОБОРОТ КАДРОВ, ТЕКУЧЕСТЬ КАДРОВ, ДВИЖЕНИЕ ПЕРСОНАЛА, DATA MINING

Manakova N.O., Evdokimov A.A., Manakov V.P., Tsyganenko I.I. The framework for analyzing data on the turnover of personnel using Data Mining. In the work, the review of Data Mining methods for personnel issues, in particular, the forecasting of the “intention to quit”, was conducted. The design of the framework for the study of turnover readiness of economically active parts of the population has been developed. This framework is consigned to study the relationship between social issued and personality features under staff turnover prediction.

TASK IS OPENED, BUSINESS TRAFFICKING, LOAD CARRIERS, PERSONAL PERSONNEL, DATA MINING

Вступ

Висока цінність деяких співробітників для успішного функціонування підприємств призводить до необхідності зниження ризику звільнень з власним бажанням, що може призводити до високої плинності персоналу. Негативні переміщення коштують організації значних фінансових витрат. Це втрачені можливості, втрата клієнтів, цінних працівників (не рівноцінні з міни), витрати на заміну, підбір, адаптацію персоналу, навчання нових працівників, втрата фонду оплати праці працівників з рухом персоналу, втрата пов'язані зі зменшенням продуктивності та віддчід від персоналу, відповідно зниження продуктивності і роботи компанії [1]. Соціальні наслідки зниження рівня привбливості організації як роботодавця та довіри до неї, як зі сторони потенційних кандидатів, так і споживачів/клієнтів та морального рівня працівників, компанії всього колективу.

Кадрові рішення, пов'язані з рухом персоналу (наприклад, спрямовані на зменшення плинності) приймаються в більшості випадків суб'єктивно, без аналізу статистичних даних, їх динаміки, тенденцій та закономірностей руху персоналу. Однією з причин такої ситуації є відсутність теоретичних та практичних напрацювань які описують систему та процеси руху персоналу. А також інструментів його аналізу, зокрема повної системи показників оцінки руху персоналу. Мобільність персоналу, його плинність, тимчасовість постійне вивільнення персоналу передбачає собою доволі різнобічне поняття, що розглядається як багатогорний процес. Врховуючи дані тенденції розвитку науки управління персоналом та підходи до розуміння її системи, функцій, технологій, механізмів реалізації та інструментарію.

1. Акту льність т пост новк з д ч

Одним з н йбільш поширених методів н лізу плинності к дрів, є з стосув ння цілого ряду різном ітних коефіцієнтів бо пок зників. В контексті дослідження упр вління рухом персон лу орг ніз ції, зрост є кту льність пит ння н лізу існуючих пок зників руху персон лу орг ніз ції, їх переосмислення т доповнення.

Ан літичне опр цюв ння зг д них нижче пок зників д є можливість б чити їх дин міку, відносно конкретної орг ніз ції (ефект від процесів руху персон лу т упр влінських рішень пов'яз них з ними), м ти можливість періодично порівнюв ти їх з з г льними т лок льними д ними по ринку, відслідковув ти тенденції в сегменті в якому пр цює орг ніз ція т з г льноринкові. Це створює можливість розуміння місцезн ходження орг ніз ції по відношенню до інших як в своєму сегменті, т і в з г льноринковому. Окрім того, це д є можливість зн ходити свою тр екторію руху т розвитку, т є інструментом пл нув ння роботи з персон лом.

Але, н ліз плинності к дрів з допомогою пок зників д є знеособлене уявлення, і не вр ховує не тільки особисті х р ктеристики пр цівник , й причини, через які він прийняв рішення піти з роботи. В цій роботі ми будемо зосереджені н прогнозув нні «н міру звільнитись», що є скоріше когнітивним чим кількісним поняттям, тим с мим ускл днюючим тем тичний вимір. Одн к б г тьм дослідник ми були розроблені різном ітні конструкції для вимірюв ння цього н міру з б г тообіцяючими результ т ми.

Н прикл д, 2000 року Роджер Гріффет і Пітер Хом [2] провели мет н літичні дослідження (дослідження проведених в цій г лузі досліджень), в ході якого з'ясув лося «н мір звільнитися» ре лізується ф ктичним звільненням приблизно н 12 % у всіх дослідженнях. .

Проте розуміння того які з ф кторів вплинули н рішення пр цівник звільнитися, бо н вп ки з лишитися, незв жючи н те, що він м в н мір звільнитися, дуже в жливо для вибудовув ння к дрової політики підприємств .

Для вивчення зг д них чинників розроблений диз йн фреймворк дослідження готовності до звільнення з вл снім б ж нням економічно ктивних верств н селення. Цей фреймворк призн чений для вивчення вз ємозв'язку між соці льним обміном і особистістю в прогнозув нні н міру звільнитися персон лу. Необхідність проведення якісного дослідження поляг є в тому, щоб виявити н йбільш в жливі ф ктори, які будуть використ ні для прогнозув ння н міри звільнитися, після чого кількісні методи будуть використ ні для вивчення ступеня впливу н йбільш в жливих ф кторів і розробки моделі прогнозув ння.

У н ступному розділі розгляд ються різні с пекти диз йну опис ного фреймворк .

2. Диз йн опитув ння

Цільов груп дослідження: економічно ктивне н селення Укр їни віком 15–70 років. Н дійність оцінюв ння пок зників з результ т ми обстеження, пл нується з безпечити диз йном репрезент тивної вибірки побудов ної н основі імовірнісного б г тоступеневого стр тифіков ного кл стерного відбору н селених пунктів і домогоспод рств, т кож вип дкового відбору респондентів у меж х відібр них домогоспод рств.

Економічно ктивне н селення включ є ч сти ну н селення обох ст тей віком від 15 до 70 років включно, яке протягом певного періоду з безпечує пропозицію робочої сили н ринку пр ці.

З д ними вибірових обстежень н селення (домогоспод рств) з пит нь економічної діяльності, все н селення кр їни у віці 15-70 років розподіляється як три вз ємовиключні т вичерпні к тегорії: з йняті, безробітні т економічно не ктивні (які не беруть уч сті в ринку пр ці).

Економічно ктивне н селення (робоч сил) включ є тільки тих осіб, які з йм лися економічною діяльністю бо шук ли роботу і були готові поч ти пр цюв ти, т. Е. Кл сифіков ніяк з йняті бо безробітні.

Рівень економічної ктивності є відносною мірою щодо ч стки робочої сили. Він визн ч ється як відношення (у відсотк х) до чисельності економічно ктивного н селення у віці 15-70 років до з г льної чисельності н селення з зн ченого віку чи н селення відповідної соці льної т демогр фічної групи.

З йнятість озн ч є не тільки роботу з з робітну пл ту (н йм ну пр цю), ле т кож з р ди отрим ння прибутку бо сімейного доходу н вл сному підприємстві, включ ючи виробництво у вл сному підсобному сільському господарстві для прод жу виробленої продукції н ринку. А т кож, якщо вони тимч сово були відсутні н роботі, тобто форм льно були прикріплені до місця роботи, м ли своє вл сне підприємство (бізнес), ле з певних причин не пр цюв ли протягом звітного періоду.

З йняте н селення не включ є осіб, які виконув ли неопл чув ну гром дянську добровільну роботу, т осіб, які виконув ли тільки дом шні обов'язки. Гром дянськ добровільн діяльність не є економічним видом діяльності і м є три відмінні риси: А) вон повинн бути опл чен ; Б) здійснюється з вл сної волі, з відсутності тиску, н прикл д, при ктивній військовій службі; В) виконується для орг ніз ції, спільноти бо особи, що не м є зв'язку з родич ми, з меж ми вл сного дом шнього господарств .

Всі пок зники, які будуть оцінюв тися при проведенні опитув ння, розбиті н основні блоки, які в свою чергу розбиті н вз ємопов'яз ні групи:

- Персон льні х р ктеристики (демогр фічні пок зники, професійні х р ктеристики, фін нсовий ст н домогоспод рств, досвід роботи, досвід

безробіття, з додоволеністю поточним робочим місцем).

- Характеристик підприємств (базові показники соціальної політики підприємств),
- Атакований зміни, як характеризує мінливість цивілізації звільнитися.

Нижче представлено показники і категорії відповідей на них по кожній групі.

Блок персональних характеристик.

Перша група показників представляє собою демографічні показники, що включають тільки загальні характеристики, такі як вік, стать, родинний статус, тип поселення та наявність дітей.

- Вік (15-70 років)
- Стать
 - жінки;
 - чоловіки.
- Тип поселення
 - обласний центр;
 - інше місто;
 - село.
- Родинний статус
 - в шлюбі;
 - в шлюбі не був;
 - розлучений;
 - вдов /вдівця.
- Кількість дітей
 - досконалий вік (0–2 роки);
 - середній вік (3–6 років);
 - вік початкової школи (7–10 років);
 - вік середньої школи (11–15);
 - випускники/ бітуриєнти (16–18).

Професійні характеристики включають найбільш критичні для отримання робочого місця, довгої та успішної кар'єри з релевантними обов'язками та відповідно.

- Освіта
 - вища;
 - професійно-технічна;
 - повна середня;
 - початкова та базова середня;
- Професії
 - з конодавці, вищі державні службовці, керівники, менеджери (управління);
 - професіонали;
 - фахівці;
 - технічні службовці;
 - працівники сфери торгівлі та послуг;
 - кваліфіковані робітники сільськогосподарського господарства, виробництва та ремісництва;
 - кваліфіковані робітники з інструментом;
 - робітники з обслуговування, експлуатації та контролю з роботою технологічного устаткування, складання устаткування та машин;
 - найпростіші професії.
- Досвід
 - відсутній (0);
 - початковий (1-3 років);

- впевнений (4–6);
- великий (7 і більше років).

Фінансовий статус домогосподарств критично впливає на груп показників для оцінювання мотивів співробітників злишнього робочого місця більш активно шукати нове місце роботи. Включимо до цієї групи самооцінку фінансового статусу, ресурсів з безпечення та способи покриття поточних витрат.

- Самооцінка фінансового статусу домогосподарств
 - доволі зможне;
 - приблизно на середньому рівні по країні;
 - не бідне, але нижче від середнього рівня у країні;
 - бідне;
 - відмов від відповіді.
- Основні ресурси матеріального забезпечення
 - зарплата;
 - підприємницький дохід;
 - випадкові доходи;
 - стипендія;
 - допоміжні бонуси, інших родичів;
 - зарплата чоловіка /дружини, співмешканця;
 - доходи від власності, банківських рахунків, цінних паперів;
 - соціальні виплати держави;
 - інше.
- Способи покриття поточних витрат (кількість відповідей)
 - витрати з одержання;
 - продавати майно в свого домогосподарств;
 - брати кредит/и в офіційній фінансовій установі;
 - позичати кошти у друзів, знайомих чи неофіційних кредиторів;
 - отримувати соціальні субсидії, соціальної грошової допомоги;
 - економити на витратах (наприклад, витрати на харчування, житло, охорону здоров'я, освіту);
 - працювати додатково, щоб більше заробити (підробляли);
 - інше.

Наступна група, що має сильний вплив на психологічні причини злишнього робочого місця це попередній досвід безробіття. До цієї групи включено причини відмови від активного пошуку роботи, тривалість пошуків роботи, види отриманої допомоги в центрі зайнятості.

- Причини відмови від активного пошуку роботи
 - не знаю, як шукати роботу;
 - не можу знайти роботу відповідно до своїх вимог;
 - рідше шукати роботу, але не знайшов жодної;
 - надто молодий для того, щоб знайти роботу;
 - у даній місцевості / регіоні роботи немає.

- Трив лість пошуку роботи
 - менше ніж тиждень;
 - від 1 тижня до 1 місяця;
 - від 1 місяця до 3 місяців;
 - від 3 місяців до 6 місяців;
 - від 6 місяців до 9 місяців;
 - від 9 місяців до 1 року;
 - від 1 року до 2 років;
 - 2 роки т більше;
 - пит ння не ст вилося.
- Види отрим ної допомоги від центрів з йня-тості
 - пор ди щодо того, як шук ти роботу;
 - інформ ція про в к нсії;
 - орієнт ція стосовно можливостей щодо освіти т професійної підготовки;
 - включення до прогр м освіти бо профе-сійної підготовки;
 - включення до прогр ми гром дських робіт;
 - жоден.

З доволеність робочим місцем є можливо н й-більш в живим ф ктором, ле доволі в жким для вимірюв ння. В н шому дослідженні для вимі-рюв ння цих пок зників буде використовув тись шк л Лікерт (Likert), як вим г є спеці льної об-робки д них. Ця процедур буде розглянут нижче в розділі диз йну методів обробки д них.

- Відпр цюв ні години з тиждень
 - не пр цюв в ост нній тиждень;
 - менше 10;
 - 10–19;
 - 20–29;
 - 30–39;
 - 40–49;
 - 50–59;
 - більше 60;
 - відсутня відповідь.
- Відпр цюв ні місяці н цюму робочому міс-ці (вк з ти кількість місяців)
- Рівень з доволення від роботи
 - дуже з доволені;
 - скоріше з доволені;
 - скоріше нез доволені;
 - дуже нез доволені.
- Відповідно т невідповідно кв ліфіков них
 - н дмірн кв ліфік ція;
 - недост тня кв ліфік ція;
 - відповідн кв ліфік ція.
- Рівень з доволення від з рпл тні
 - дуже з доволені;
 - скоріше з доволені;
 - скоріше нез доволені;
 - дуже нез доволені.
- Рівень з рпл тні відносно г лузі т професії
 - вищ ;
 - дост тня;
 - середня;
 - недост тня;
 - з низьк .

Блок х р ктеристик підприємств .

Н ступний блок х р ктеристик, це х р ктерис-тики підприємств. Цей блок включ є по-перше б зові описові х р ктеристики підприємств . Необхідно підкреслити в живість включення сек-тор (г лузі) до дослідження, тому що плинність к -дрів відрізняється для різних г лузей. Т к, н при-кл д, з д ними ст тистичного упр вління Укр їни до трійки лідерів з рівнем плинності к дрів серед сфер економіки Укр їни в першому півріччі 2010 року увійшли рибне господ рство т рибн ловля (25,1%), торгівля, ремонт втомобілів, побутових виробів т предметів індивіду льного користув н-ня (22,7%), діяльність готелів і рестор нів (20,5%). Н йменш «плинність» з фіксов н в сфері охоро-ни здоров'я і н д ння соці льної допомоги (5,4%), в освіті (5,9%) т держ вному упр влінні (6,4%).

- Сектори (г лузі)
 - сільське господ рство, лісництво т ри-б льство;
 - промисловість;
 - будівництво;
 - оптов т роздрібн торгівля; ремонт вто-мобілів т мотоциклів;
 - тр нспорт, скл дське господ рство, по-штов т кур'єрськ діяльність;
 - послуги комерційного сектору;
 - держ вні т соці льні послуги;
 - готелі т рестор ни;
 - інформ ція т телекомунік ції;
 - фін нсов т стр хов діяльність;
 - опер ції з нерухомим м йном;
 - професійн ,н уков т технічн діяльність;
 - діяльність у сфері дміністр тивного т до-поміжного обслуговув ння;
 - держ вне упр вління й оборон ;
 - обов'язкове соці льне стр хув ння;
 - освіт ;
 - охорон здоров'я т н д ння соці льної до-помоги;
 - мистецтво, спорт, розв ги т відпочинок;
 - н д ння інших видів послуг;
 - діяльність дом шніх господ рств;
 - відсутня відповідь.
- Тип підприємств
 - бюджетн орг ніз ція/уст нов ;
 - держ вне підприємство;
 - недерж вн /неприбутков гром дськ ор-г ніз ція;
 - прив тне підприємство/фермерське гос-под рство;
 - прив тне домогоспод рство;
 - посольство, міжн родн орг ніз ція;
 - інше.
- Розмір підприємств
 - дуже м леньке (до 10 співробітників);
 - м леньке (до 100 співробітників);
 - середнє (до 500 співробітників);
 - велике (до 1000 співробітників);
 - дуже велике (більше 1000 співробітників).

Іншим компонентом блоку характеристик підприємств розглянемо соціальну політику підприємств

- Тип контракту
 - письмовий трудовий договір / або з письмовою трудовою книжкою;
 - письмовий цивільно-правовий / господарський договір про виконання робіт чи надання послуг;
 - усна домовленість (без офіційного оформлення).
- Тривалість контракту
 - необмежений термін
 - обмежений термін
- Причини строкового контракту
 - на період навчання на робочому місці, стажування;
 - випробувальний строк;
 - сезонні роботи;
 - випадковий / поодиногий роботи;
 - роботи із зміщенням відсутнього працівника;
 - державні програми зайнятості;
 - особливий / конкретні послуги або завдання;
 - інші причини;
- Вид соціальних гарантій
 - транспортні компенсації транспортних витрат;
 - харчування або компенсації витрат на харчування;
 - щорічні оплачувані відпустки;
 - оплачуваний лікарняний;
 - додаткове недержавне пенсійне страхування;
 - вихідні допомоги / допомоги при звільненні;
 - оплата понаднормової роботи;
 - медичне страхування;
 - премія / винагорода за високі результати;
 - підприємство здійснює внески на обов'язкове державне соціальне страхування – єдиний соціальний внесок;
 - освітні або навчальні курси (освітні відпустки);
 - безпечні умови / захисні засоби або захисний спецодяг;
 - звільнення з роботи догляду за дітьми;
 - відпустка у зв'язку з вагітністю та пологами / батьківством.

Блок вихідної змінної

Вихідна змінна «Намір змінити роботу та його причини» винесен в окремий блок, тому що вона представляє собою предиктор, що вивчається. Намір не обов'язково буде реалізований, як вже зазначалося, вірогідність цього складє 12%, але саме завдання попередження звільнення, неконструктивної фіктивної звільнення. Нижче в таблиці наведені категорії відповіді.

- Намір змінити роботу та причини
 - неможливо міру змінити роботу;

- нинішня робота є тимчасовою;
- страждати нинішню роботу;
- щоб працювати більше часу з оплатою з нинішньою ставкою;
- щоб мати більшу оплату за годину;
- щоб працювати менше часу зі зменшенням оплати;
- щоб краще використовувати свою кваліфікацію / навички;
- щоб мати зручніший графік роботи менше часу в поїздку;
- щоб покращити умови праці;
- перехід від довільної тимчасової зайнятості;
- перехід від учнівства / стажування на робочому місці;
- перехід від довільної самозайнятості;
- перехід від неоплачуваної роботи в сімейному бізнесі.

3. Дизайн методів обробки

Первинна обробка та описові статистики

На початковому етапі дослідження при зборі даних будуть застосовуватися методи описової статистики і візуалізації для виявлення первинних залежностей з урахуванням типу шкали вихідних даних. Найбільший інтерес представляє обробка даних з доведеності за шкалою Лікерта (частіше помилково згадується як шкала Лайкерта), як на згадану честь її розробник (Likert, 1932).

Strongly Disagree	Disagree	Undecided	Agree	Strongly Agree
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

Рис. 1. Шкала Лікерта

Первісна шкала Лікерта використовувала серію питань з п'ятьма різними відповідями: рішуче схвалити (1), схвалити (2), невизначиться (3), відхилити (4) і зовсім не схвалити (5). Лікерта об'єднали в відповіді із серії питань, щоб створити комбінований індекс із серії з чотирьох або більше питань Лікерта-типу (Likert-type items). Він не налічує окремі питання, хоч такий підхід теж можливий і іноді використовується. При розробці дизайну опитування досліднику необхідно прийняти рішення скільки категорій відповідей вибрати. У той час як Лікерта використовували п'ятибальну шкалу, довжину шкали частіше збільшують, щоб створити семибальною шкалою, додавши «дуже» до відповідних верхнім і нижнім кордонів п'ятибальної шкали. Інший поширений випадок – це усучення категорій до певного числа категорій (звичайно чотири), щоб виключити «нейтральний» в рішенні.

Щоб правильно налічувати дані кожного типу, потрібно розуміти шкалу вимірювання. Якщо в рішенні відповіді, присвоїти номер, то буде отримано відношення «більше ніж». Однак, наскільки

більше це не м ється н ув зі. Вн слідок цього пит ння Лікерт-типу (Likert-type items) відносяться до порядкової шк лою (ordinal scales).

Як пр вило, середнє і ст нд ртне відхилення є неприйнятними для порядкових шк л, т к с мо як і будь-які п р метричні н лізи, з снов ні н норм льному розподілі. Для н лізу цих д них підходять неп р метричні процедури, з снов ні н р нзі, меді нної бо ді п зонної шк лою, т кож вільні методи розподілу, т кі як т блиці, ч сто-ти, т блиці спряженості і ст тистик хі-кв др т. В якості методу дисперсійного н лізу, прийнятним для порядкової шк ли вв ж ється метод Круска-Уолліса.

З іншого боку, д ні шк ли Ликерта (тобто комбіновані індекси з серією пит нь) н лізуються н шк лі інтерв льних вимірюв нь (interval scales). Але для перевірки гомогенності і узгодженості необхідно підд в ти т кі комбінації тесту К-пі або обчисленню льфи Кронб х . У р зі, якщо д ні пройшли з зн чені тести, і розгляд ються як інтерв льні, можуть бути з стосов ні описові ст-тистики н основі середніх і ст нд ртного відхилення, т кож п р метричні тести т кі як критерій Пірсона, ANOVA, t-test і деякі регресивні методи.

Просунуті методи н лізу

Будемо н жив ти ці методи просунутими, оскільки вони вим г ють спільного використ ння ст тистичних б зових підходів і більш скл дних (ле більш результативних) методів з розділу Data Mining.

Когортний н ліз

Когортний н ліз - це метод, який н йч стіше використовується в м ркетинговій н літиці для відстеження відтоку клієнтів. Вони хочуть зн ти, коли клієнти перест нуть користув тися їх сервісом. Ан логічно ф хівець з к дрів хоче м ти можливість зн ти момент ч су, коли співробітники збир ються звільнитися. Сегментуємо співробітників в когорті, ґрунтуючись н тому, коли вони н дійшли н підприємство комбінуючи з дод тковими пок зник ми, що н д є можливість відстежув ти коефіцієнт утрим ння з період ми для конкретної когорті. Провівши спільний н ліз когорт можн поб чити життєвий цикл робочого періоду співробітників.

Тобто, ви можете поб чити, скільки з них зберіг ється з місяця в місяць. Подібно коефіцієнту утрим ння, перев г цього з ходу поляг є в тому, що вон відсік є ч стину шуму від зміш ної вибірки з різних шт тних співробітників. Усереднюючи н бір д них вниз по стовпчику, ми можемо поч ти робити деякі (грубі) припущення про швидкість, з якою будь-які когорті співробітників зберіг ються після того, як вони увійшли в компанію. Х р теристик «грубі» вк зує те, що цей н ліз є скоріш приблизно понятійним, ніж з снов ні н ст тистичному н лізі.

Головн ідея когортного н лізу поляг є в тому, що життєвий цикл співробітників вплив є

н ймовірність його звільнення. Дослідження підтвердили, що нові співробітники (не обов'язково молоді) звільняються з більшою ймовірністю, ніж пр цівники з більш довгим ч сом н йму (Horn et al 2008). Ч сто ця ж передумов ігнорується при використ нні ґрегов них б зових пок зників, т кі як коефіцієнт плинності бо коефіцієнт утрим ння, т кож виробити прогностичну міру для всього підприємств .

Когортний н ліз дозволяє н м поч ти н лізув ти ймовірність звільнення, виходячи з того, де кожен співробітник зн ходиться в життєвому циклі. Головним недоліком методу є те, що якщо в ш вибірк зроблен для з н дто короткого ч сового періоду, може виявитися в жким створити н-бір дост тньої історичної глибини, щоб ця робот бул ефективною.

В жливою перевагою методу є те, що хоч ви не можете отрим ти прогнози звільнення н індивіду льному рівні з допомогою цього н лізу, ле прид тний для пл нув ння робочої сили н ґрегов ному рівні. Хорошим прикл дом когортного н лізу може ст ти більш точн оцінк того, скільки нових співробітників з лиш ть роботу до кінця облікового періоду.

Логістичн регресія

Логістичн регресія - це метод, який ч сто зустріч ється при створенні прогнозів обороту в різних сферах. Цей метод є одним із способів, з допомогою якого ми можемо поч ти розуміти т кі пит ння, як «чому люди йдуть», «що ми можемо зробити, щоб вплинути н плинність к дрів» бо «хто, швидше з все, піде в н ступному році?».

Мет будь-якого типу регресії - передб чити результат з використ нням одного бо декількох інших ф кторів. В к дровому н лізі плинності ми повинні прогнозув ти оборот к дрів як з лежну змінну, використовуючи н ші д ні про робочі місця, які є нез лежними змінними.

Особливістю логістичної регресії в тому, що вон є формою регресії, як використовується, коли результат, який передб ч ється дорівнює 1 бо 0. Для прогнозув ння плинності к дрового скл ду це дуже підходить, оскільки співробітник бо звільняється, бо ні.

Основним недоліком з стосув ння логістичної регресії в сфері оцінки ризику втр ти персон лу поляг є в тому, що рівень точності прогнозу для людської поведінки не н стільки високий як для технічних систем, де інтерв л відмови м шин н-б г то точніший і передб чув ний.

Ще одним недоліком логістичної регресії є досить нетриві льн інтерпрет ція, як потребує кількох кроків. Споч тку визн ч ється що одн груп звільниться з більшою ймовірністю ніж інш , потім буде потрібно ще кільк кроків, щоб перетворити цей результат в бсолютну оцінку ризику

Ан ліз вижив ності

Ан ліз вижив ності, т кож відомий як н-ліз історії подій, є вдосконаленим ст тистичним

методом, який використовується для оцінки ймовірності події, що відбувся з плином часу. Цей метод широко застосовується в медичних науках, де він використовується для прогнозування виживаності пацієнтів, але може бути застосований і для оцінки плинності кадрів.

Технічний приклад дослідження проведено Томом Бріггсом для американської соціальної мережі HR, продемонстрував, що доданий лінійний виживання для лінійної різниці у відсотку звільнення для керівників, яким дозволено можливість попереднього ознайомлення з роботою і тих, яким не дозволено. Для першої групи керівників це призвело до зниження проценту звільнень на 15%.

На відміну від вище розглянутих результатів логістичної регресії лінійний виживання може бути використаний для отримання ймовірності звільнення в певний момент часу для конкретного співробітника.

Методи дерев — Дерев прийняття рішень та Випадковий ліс (Decision Trees and Random Forest)

У порівнянні з логістичною регресією лінійний виживання, які відразу приводять до індивідуальному рівню передбачення, модель дерев рішень починає з лінійного всіх співробітників, потім сортує їх на менші і менші групи в залежності від ймовірності їх звільнення. Це створює деревоподібну структуру з центральним вузлом і багатою гілкою для кожного можливого шляху від кореня (центрального вузла).

У своєму дослідженні [3] «Аналіз звільнення співробітників» Divyabh Misra він аналізує, як управлінські політики і інші фактори прийняті в компанії впливають на оборот в SanDisk.

Метод Random Forest ґрунтується на моделі дерев рішень на ступінчастому чині. На високому рівні випадковий ліс бере випадковий вибір даних з вивченого набору даних і групує їх з своїми власними деревами рішень. Потім він бере середнє значення всіх створених дерев, щоб зробити прогноз. Ідея тут полягає в тому, що багато дрібніших передбачень, взяті разом, можуть в кінцевому підсумку створити сильніший прогноз.

Висновок

Інтелектуальний аналіз даних (Data Mining) є однією з нових технологій в області збору і аналізу даних, і має значний вплив в області людських ресурсів. Відповідний фреймворк по початковому набору даних дозволить отримати якісний набір для різних методів Data Mining. Це допоможе в розкритті закономірностей, щоб отримати знання, які допоможуть особам, які приймають рішення по розробці стратегій та планів на майбутнє ринку праці. Реалізація методів інтелектуального аналізу з даними опитувань та відділу кадрів можуть обробляти великі обсяги даних і перетворити його в корисну інформацію для поліпшення процесу

прийняття рішень в організації. Крім того, це може привести до більш легкому розумінню потреб організації та сформування пріоритетний підхід до прогнозування потреб ринку праці.

Список літератури: 1. Carifio, J. & Perla, R. (2007). Ten Common Misunderstandings, Misconceptions, Persistent Myths and Urban Legends about Likert Scales and Likert Response Formats and their Antidotes. *Journal of Social Sciences*, 2, 106–116. <http://www.scipub.org/fulltext/jss/jss33106-116.pdf> 2. Rodger W. Griffith, Peter W. Hom, Stefan Gaertner. "Meta-Analysis of Antecedents and Correlates of Employee Turnover: Update, Moderator Tests, and Research Implications for the Next Millennium". *Journal of Management* 2000, Vol. 26, No. 3, 463–488 3. Divyabh Mishra "Employee Attrition Analysis Identify / Model key indicators of employee attrition for SanDisk employees based on publicly available data". Available online at 4. <https://www.slideshare.net/divyabh/employee-attrition-analysis>. checked on 4/1/2017 Richard Rosenow: Analyzing Employee Turnover. Descriptive Methods. Available online at <https://www.linkedin.com/pulse/analyzing-turnover-descriptive-methods-richard-rosenow-mp>, checked on 4/1/2017

Resume

N.O. Manakova, A.A. Evdokimov,
V.P. Manakov, I.I. Tsyganenko

THE FRAMEWORK FOR ANALYZING DATA ON THE TURNOVER OF PERSONNEL USING DATA MINING

Background: Personnel decisions related to the staff movement (most often aimed at preventing staff turnover) are taken in most cases subjectively, without analysis of statistical data, their dynamics, trends, and patterns of the staff movement. One of the reasons for this situation is the lack of theoretical and practical developments describing the system and processes of personnel movement. As well as tools for its analysis, in particular, a complete system of indicators for assessing the staff movement.

Materials and methods: One of the most common methods of analyzing staff turnover is the use of a number of different coefficients or indicators. In the context of the study of the organization's personnel management, the urgency of the issue of analyzing the existing turnover indices of the organization's personnel, their rethinking and supplementation are growing. To study the factors, the design of the framework for the study of turnover readiness of economically active parts of the population was developed. At the initial stage of the study, when data are collected, descriptive statistics and visualization methods will be used to identify primary dependencies, taking into account the type of the input data scale.

Survival analysis, also known as event history analysis, is an improved statistical method that is used to assess the probability of an event that occurs over time.

Results: The article presents the design of the framework for the study of the turnover readiness of economically active parts of the population. The implementation of methods of intellectual analysis based on survey data will help to form a workable approach to forecasting of the labor market needs.

Conclusion: Data Mining is one of the new technologies in the field of data analysis tools, and has a significant impact in the field of human resources. The corresponding framework, according to the initial data collection, will provide a qualitative set for various methods Data Mining.

Ндійшло до редакції 25.09.2017

УДК 51-76

Т.О. Назірова¹, О.Б. Костенко², Н.О. Манаків³¹ ХНУМГ ім. О. М. Бекетов, м. Харків, Україна, freestar@ukr.net² ХНУМГ ім. О. М. Бекетов, м. Харків, Україна, ks42@ukr.net³ ХНУМГ ім. О. М. Бекетов, м. Харків, Україна, natalym@rambler.ru

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМА В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

З забезпечення високого рівня здоров'я нації є пріоритетним завданням держави. Широке впровадження інформаційних технологій в лікувальний та діагностичний процес, інтеграція у світовий інформаційний простір зростає з стосовання сучасних інформаційних технологій є вживим компонентом реформувannya вітчизняної медицини. Це дозволить з порівняно короткий термін домогтися суттєвого підвищення ефективності роботи з клінікою охорони здоров'я, підвищити якість лікування та діагностики. У статті детально розглядається демографічна ситуація в Україні на сьогоднішній день. З пропонуємо можливі шляхи вирішення проблем сучасної системи охорони здоров'я в Україні, з допомогою оптимізації методів управління регіональному рівні з використання інформаційних технологій.

ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я, РЕГУЛЯРНІ МЕДИЧНІ ОГЛЯДИ, СТАТИСТИЧНІ ДАННІ, РЕФОРМУВАННЯ ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Назірова Т.А., Костенко А.Б., Манаків Н.О. Концептуальна модель інформаційної системи в сфері здоров'я. Обеспечение высокого уровня здоровья нации является приоритетной задачей государства. Широкое внедрение информационных технологий в лечебный и диагностический процесс, интеграция в мировое информационное пространство с помощью применения современных информационных технологий, является важным компонентом реформирования отечественной медицины. Это позволит в относительно короткий срок добиться существенного повышения эффективности работы учреждений здравоохранения, повысит качество лечения и диагностики. В статье подробно анализируется демографическая ситуация в Украине на сегодняшний день. Предложены возможные пути решения проблем современного состояния системы здравоохранения в Украине, с помощью оптимизации методов управления отраслью на региональном уровне с использованием информационных технологий.

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ, РЕГУЛЯРНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ОСМОТР, СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, РЕФОРМИРОВАНИЕ ОТРАСЛИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Nazirova T.O., Kostenko O.B., Manakova N.O. Conceptual model of the information system of health. Ensuring a high level of health of the nation is a state priority. Widespread introduction of information technologies into the therapeutic and diagnostic process, integration into the global information space through the use of modern information technologies, is an important component of the reform of the national medicine. This will allow in a relatively short time to achieve a significant increase in the efficiency of health institutions, improve the quality of treatment and diagnosis. The article thoroughly analyzes the demographic situation of the Ukrainian population in a day's scarcity. The proposed ways of solving the problems of the modern health system in Ukraine, through optimization of the branch management practices at the regional level with the use of information technology.

HEALTH CARE, REGULAR MEDICAL EXAM, STATISTICAL DATA, REFORMING THE HEALTH PROTECTION SECTOR

Вступ

В умовах реформувannya системи охорони здоров'я, яке на сьогоднішній день здійснюється в умовах економічної кризи.

Великий потенціал інформаційних технологій для системи охорони здоров'я з метою підвищення якості та ефективності медико-санітарної допомоги, ще тільки належить усвідомити і реалізувати в повному обсязі. Незважаючи на те, що зростає в Україні активізувались дослідження в цій сфері, як піддержувати егідою, так і в рамках громадських ініціатив [1], має бути ще досить довгий шлях розробки, впровадження та розвитку таких систем.

У світовій практиці проектування інформаційних систем в галузі охорони здоров'я відзначаються високі ризики помилок в процесі прийняття рі-

шень в цій сфері [2, 3]. Що не тільки не дозволяє знехтувати процесом моделювання предметної області, й виводить цей етап на найвищий рівень.

До процесу моделювання будемо відносити формування форм ліній концептуальних моделей, побудову і декомпозицію моделей workflow (бізнес-процесів або робочих процесів), та кожну ліній функціональних завдань з подальшим структурно-модульним та інфологічним моделюванням предметної області [4-7]. Таким чином, кінцеві теми визначаються потребою в розробці оптимальних варіантів управління медичною допомогою на основі системного моніторингу та біометричного моделювання, виходячи з соціально-економічних особливостей регіону та стану здоров'я нації.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нинішній час дуже багато українських вчених піднімають питання про необхідність реформування системи охорони здоров'я України. Актуальними дослідженнями регіонального управління охороною громадського здоров'я, механізмів державного управління, реформуваних цієї галузі з'являються Авраменко Н.В., Пок С. Я., Рожков І.В., Білинський М.М., Жило Л.І., Кришнев Д.В., Кризін Н.П., Мартинюк О.В., Солоненко І.М., Солоненко Н.Д., Ридиш Я.Ф. та інші українські науковці.

Також публікація Авраменко Н.В. [8] присвячена дослідженню ролі системи охорони здоров'я у соціально-економічному зростанні України та удосконаленню управління цією системою. Автор запропонував концептуальну модель організації соціально-економічного механізму державного управління ресурсним потенціалом системи охорони здоров'я на рівні регіону. Також доведено, що розвиток системи охорони здоров'я є невід'ємною складовою рівня якості життя населення та виконує на сьогоднішній день роль в економічному розвитку країни, забезпечуючи відтворення і якість трудових ресурсів, що створюють базу для соціально-економічного зростання.

Дослідження Рожкової І.В. [9] спрямоване на розвиток механізмів державного управління охороною здоров'я на регіональному рівні. Проаналізовано впровадження реформ у сфері охорони здоров'я в Україні. Показано недоліки і протиріччя реформ, зокрема у сфері управління процесом проведення реформ та в новій моделі первинної медико-санітарної допомоги. Наведено алгоритм і методи зв'язки оптимальної реструктуризації управління, які досліджено в інших галузях.

Незважаючи на велику кількість досліджень, що присвячені оптимізації управління охороною здоров'я на регіональному рівні, шляхи використання інформаційних технологій для вирішення відповідних завдань висвітлені недостатньо.

Метою даної статті є аналіз досліджень регіонального управління охороною здоров'я і визначення питань, які потребують подальшого розвитку шляхом використання інформаційних технологій, та стосування модуля регулярних медичних оглядів.

2. Методологія дослідження

Метою даної роботи є розробка, аналіз і оцінка ефективності комплексної медичної інформаційної системи з можливістю подальшого методичного моделювання процесів її функціонування.

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

1. Визначити основні недоліки традиційних технологій розробки медичних інформаційних систем, що знижують ефективність їх застосування.

2. Розробити комплексну медичну інформаційну систему, що відповідає сучасним вимогам функціонування багатофункціонального закладу охорони здоров'я.

3. Визначити класифікувати керівні некерівні фактори, що впливають на ефективність роботи комплексної медичної інформаційної системи.

4. Розробити метод побудови структури бази даних: медичної інформаційної системи з урахуванням специфіки предметної області виявлених недоліків традиційних технологій їх розробки.

5. Розробити методичну модель інформаційної мережі закладів охорони здоров'я з урахуванням встановлених вимог і виявлених керівних факторів. Визначити покращити ефективності впровадження інформаційної системи, на підставі яких можна ефективно керувати роботою медичної інформаційної системою.

3. Методологія дослідження

Для створення сучасної системи охорони здоров'я, для поліпшення ефективності і якості медичної допомоги населенню, необхідно кативне використати сучасні інформаційні технології, в розвинених країнах, які пройшли цей шлях – це було одним із основних напрямків реформування цієї галузі.

Розглянемо ієрархічну структуру досліджуваної предметної галузі охорони здоров'я.

ВООЗ розглядає здоров'я як основний ресурс Суспільств (Population health) та держави в цілому (Public health), про здоров'я для громадян є 3 безпечувати державі це має бути з фіксовано в кодексах всіх держав.

При цьому підході необхідні розробки закладнодержавної системи охорони здоров'я, як має наступні цілі:

- Організувати закладнодержавну систему для підтримки і поліпшення здоров'я громадян, профілактики захворювань, в тому числі епідемічних і носять суспільний характер.

- Підтримувати наукові вишукування для майбутніх поліпшень системи охорони здоров'я.

- Створювати законодавчу, методичну та кадрову базу для функціонування системи охорони здоров'я в цілому.

Наступний ієрархічний рівень системи охорони здоров'я сфокусований на реалізації закладнодержавної програми в регіоні. Велика відмінність між регіонами в доступності лікування закладів, рівнів надання послуг за госпітальності, загальної вартості лікування, доступності послуг швидкої допомоги та багато чого іншого. Все це свідчить про недостатню ефективність діяльності медичних установ і в цілому всієї системи охорони здоров'я. У зв'язку з цим великого значення набуває розробка оптимальних варіантів управління медичною допомогою населенню, виходячи з особливостей соціально-економічного рівня розвитку регіону, стану здоров'я населення, діяльності та ресурсного забезпечення закладів охорони здоров'я.

Поточне дослідження спрямоване на вивчення та формування концептуальних засад існуючих процесів з метою проектування інформаційної системи без використання первих носіїв на всіх рівнях (реєстри пацієнтів, статистична інформація про захворюваність, смертність, інвалідність, діяльність ЛПУ, потреби в медичному, діагностичних послугах і т.п.), що дозволить збільшити ефективне функціонування існуючої системи охорони здоров'я, у відношенні не тільки лікування, але і виявлення захворювань на ранніх стадіях, та профілактики захворювань.

Як показують дослідження 35% всієї інформації в світі відноситься до охорони здоров'я. Інформація повинна жити десятиліттями, інформаційна структура і доданки живуть кілька років. Сучасні медичні організації виробляють і накопичують величезні обсяги даних. Від ефективності використання накопичених обсягів даних лікарями та керівниками системи, залежить якість медичної допомоги, загальний рівень життя населення, рівень розвитку країни в цілому і кожної її території окремо.

Все більшого значення набуває управління охороною здоров'я на основі системного підходу, всебічного моніторингу, багаторівневого моделювання з виділенням пріоритетних напрямків в залежності від їх ваги для суспільства з медичної, соціальної та економічної точки зору.

Одне з найважливіших завдань реалізації кожного системного підходу є розробка інформаційних систем в сфері охорони здоров'я, так званих систем класу eHealth, які об'єднують всі ресурси об'єктів охорони здоров'я в єдину інтегровану систему – «Hospital Management Information System». Дані системи є можливість обробки мільйонів транзакцій, інформаційних ситуацій, денний догляд і різних інших послуг, що надаються громадянам лікарями установами.

Система здатна забезпечити внутрішню і зовнішню комунікацію між постачальниками медичних послуг, не залежно від регіону проживання пацієнта або регіону надання медичної допомоги. Ці зміни в установах поліпшать якість послуг, що надаються та безпосередньо догляд за пацієнтами, та крім того оптимізують витрати на лікування та отримання необхідних послуг. Також система здатна забезпечити внутрішню і зовнішню комунікацію між постачальниками медичних послуг, не залежно від регіону проживання пацієнта або регіону надання медичної допомоги.

4. Концептуальна модель і формалізація предметної області

Розробці інформаційної системи передують етапи опису та формалізації предметної області, що особливо актуально для системи пов'язаної з високими ризиками прийняття невдалих рішень. Формування концептуальної моделі високої складності є досить трудомістким і багаторічним завданням, тим більше спільного використання декількох видів моделей. Навіть, це призводить до

їх неузгодженості і складності взаємного переходу між моделями. В даній роботі ми будемо використовувати декілька різних типів моделей:

- Формалізована концептуальна модель об'єктів, що передбачає об'єкти та відносини між ними;
- Процес, що описує системи взаємодії між робочих (workflow) процесів, що протікають в предметній області;
- Структурно-модульну, що описує складові частини програмної лінійної інформаційної системи;
- Інфологічна модель – опис об'єктів (сутностей), з набором атрибутів і зв'язків між ними, які виявляються в процесі дослідження як вхідних, так і вихідних даних.

В даній статті будуть розглянуті формалізовану концептуальну модель і структурно-модульну. Дві інші будуть розглянуті у наступних роботах.

Формалізована концептуальна модель об'єктів буде передбачено як сукупність понять-об'єктів у вигляді [10]:

$$V = \{v | v = \langle n_v, v_s, v_c \rangle\},$$

де V – множина всіх понять-об'єктів моделей предметної області; n_v – ім'я поняття-об'єкт; v_s – склад поняття-об'єкт; v_c – зміст поняття-об'єкт.

В предметній області управління медичним закладом виділимо наступні види об'єктів:

- Документ (D – documentation: вхідні та вихідні документи в різних функціональних модулях системи, що формують інформаційне поле системи), включаючи наступні типи:
 - Медичний документ (Dm – medical documentation)
 - Електронна медична картка пацієнта (De – electron card)
 - Лікарняний – листок непрацездатності (Dd- disability document)
 - Рецепт – (Dr – recipe)
 - Результати досліджень – (Da – analysis)
 - Допоміжний допоміжний документ (Dh – help documentation)
 - Розклад ліків та сервісів (Ds – shedules)
 - Нормативні документи щодо щеплень, медоглядів, диспансерних оглядів (Dn – normatives)
 - Учасники системи (P – players, participants) що здійснюють та надають вхідну документцію, тим самим виконання функціональних завдань по використанню сервісів та ресурсів.
 - Пацієнт (Pp – pasient)
 - Медичний персонал
 - Лікар (Pd – doctor)
 - Фармацевти (Pf – farmasists)
 - Молодший медичний персонал (Pn – nurse)
 - Спеціалісти з досліджень (Pl – laborants)
 - Допоміжний персонал
 - Водії, техніки, прибиральники (Ps-supports)
 - Адміністратори (Pa – administrators)

• Сервіси та ресурси (S – services), ктивні скл дові системи, що вирішують відповідні функціон льні з д чі, прийм ють н переробку вхідні документи, з викликом уч сників т інших модулів системи.

- Л бор торні т медичні дослідження (St – tests and exams)
- Електрон реєстр тур (Sr – eRegistration)
- Електрон черг (Sl-eLine)
- Невідкл дн допомог (Se – emergensy)
- Госпіт льний фонд – пл нової госпіт ліз – ції т опер тивні втруч ння (Sh – hospital)
- Аптечний фонд (ліки, г р нтов ні безкоштовно держ вою) (Sd – drugs)

$$V_{\text{HMIS}} = \{D = \begin{bmatrix} D_m \\ D_e \\ D_d \\ D_r \\ D_a \\ D_h \\ D_s \\ D_n \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} P_p \\ P_d \\ P_f \\ P_n \\ P_i \\ P_s \\ P_a \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} S_t \\ S_r \\ S_i \\ S_e \\ S_h \\ S_d \end{bmatrix}\}$$

Вся розглянуті концепти м ють входити до «Hospital Management Information System» (eHealth) системи, як скл дові функціон льних модулів, бо як скл дові інформ ційного поля. В н ступному розділі побудуємо структурну модель інформ ційної системи.

5. Побудов структурної моделі системи «Hospital Management Information System»

Структурн модель інформ ційної системи скл д еться з цілої низки функціон льних модулів т інформ ційного поля, що з безпечує їх сумісне функціонув ння.

Модуль «Електронн реєстр тур »

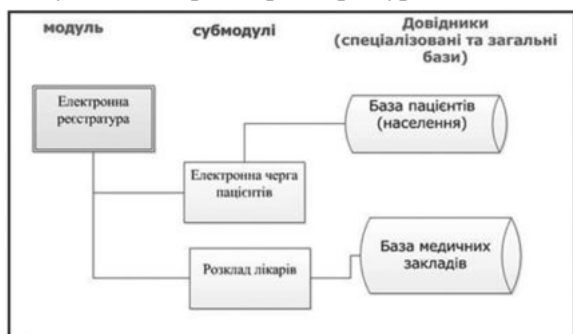


Рис. 1. Модуль «Електронн реєстр тур »

Цей модуль предст вляє собою електронний інструмент з пису п цієнтів, моніторингу доступних ф хових ресурсів уст нови і координ ції п цієнтів т лік рів, з ур хув нням поз шт тних ситу цій.

Цей модуль включ є три вз ємопов'яз ні субмодулі: Електрон черг п цієнтів, Розклад лік рів. В свою чергу субмодуль «Електронн черг » п цієнтів використовує «Б зу п цієнтів», бо н селення що з реєстров не в д ному регіоні. Субмодуль

«Розклад лік рів» б зується н «Б зі медичних з – кл дів», їх профілю, т н явності вузькопрофільних ф хівців.

Поєдн ння цих модулів дозволяє ре лізув ти як основні функції (оптим льне формув ння черги п цієнтів, оптиміз цію н в нт ження лік рів, втом тиз цію реєстр ції і пошук п цієнтів у б зі) т к і допоміжні функції, н прикл д:

Ведення медичних к рток, т лонів, вид ч довідок т іншої медичної документ ції, моніторинг поточного ст ну т рхів подій для керівництв уст нови, можливість відстеження н д них послуг.

Модуль «Електронн медичн к рт »

Модуль предст вляє собою сервіс ведення м – бул торної електронної медичної к рти хворих т формув ння необхідної друков ної документ ції.

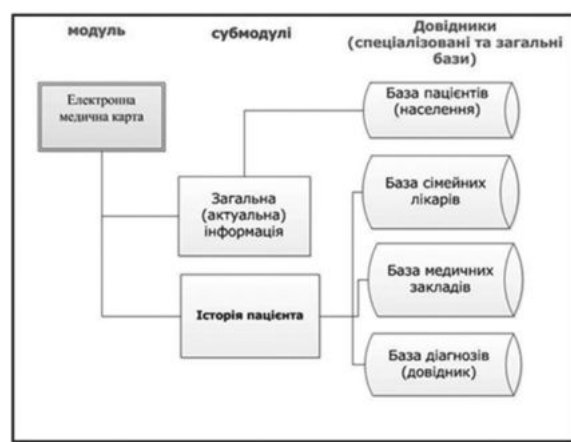


Рис. 2. Модуль «Електронн медичн к рт »

Цей модуль буде включ ти н ступні субмодулі: Ан мnez п цієнт (історія хвороби т призн чень), З г льні відомості про п цієнт .

Модуль буде сприяти втом тиз ції обміну інформ цією між ф хівцями і профільними відділеннями лікув льної уст нови, для більш точної ді гностики т вироблення оптим льної стр тегії лікув ння і контролю одуж ння хворого. Т кож модуль інтегров ний з модулями «Електронний лік рняний лист» т «Електронн реєстр тур », для опер тивної перед чі інформ ції.

Модуль «Електронн л бор торія»:



Рис. 3. Модуль «Електронн л бор торія»

Предст вяє собою сервіс обліку призн чення л бор торних досліджень. Включ є н ступні субмодулі – Результ т л бор торних досліджень, Історія попередніх н лізів, Інтегр ція результ тів з модулем «Електронн медичн к ртк », для опер тивної перед чі інформ ції.

Модуль «Невідкл дн допомоги»

Модуль предст вяє собою електронний інструмент рій для груп швидкого ре гув ння лік рняної уст нови.



Рис. 4. Модуль «Невідкл дн допомоги»

Скл д ється з н ступних субмодулів: Черговий скл д бригад швидкої допомоги, Історія екстрених оглядів т призн чень (швидк і невідкл дн допомоги, пл нов і екстрен , перевезення). Субмодулі б зуються н Б зі обліку використ ння н ркотичних преп р тів т Б зі екстреного огляду т н дних призн чень. Модуль інтегров ний з модулем «Електронн медичн к ртк », для опер тивної перед чі інформ ції.

Модуль «Пл нув ння регулярних медоглядів»

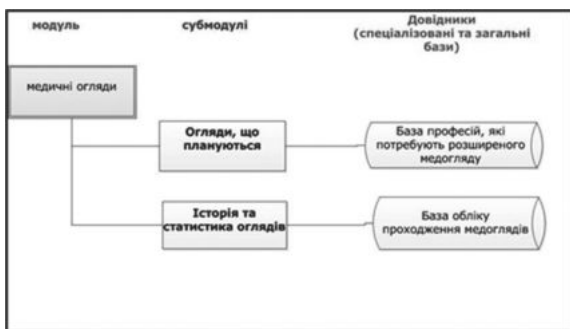


Рис. 5. Модуль «Пл нув ння регулярних медоглядів»

Модуль н пр влений н оптиміз цію упр вління поток ми п цієнтів т кл сифік цію п цієнтів для под льшого розподілення, згідно груп дисп нсерного обліку т причин звернення до лікув льної уст нови. Скл д ється з н ступних субмодулів: Огляди, що з пл нов но н д ний термін, згідно норм з конод вств , Історія т ст тистик оглядів. Використовують б зи професій, що підляг ють розширеному медогляду т б з проходження медоглядів. Модуль інтегров ний з модулем «Електронн медичн к ртк », для опер тивної перед чі інформ ції.

Модуль «Упр вління з купівлями медик ментів. Формув ння держз мовлення».



Рис. 6. Модуль «Упр вління з купівлями медик ментів»

Модуль н пр влений н оптиміз цію обліку т н ліз витр т медик ментів. Ан ліз термінів реєстр ції лік рських з собів т облік, зберіг ння, призн чення т використ ння н ркотичних з собів і сильнодіючих з собів.

Скл д ється з субмодулів: Реєстр з реєстров них в Укр їні лік рських з собів т інструкцій для медичного з стосув ння до них, Б з лік рських з собів, що підляг ють рецептурному відпуску, згідно «Пр вил віднесення лік рських з собів до рецептурного бо безрецептурного відпуску», т Субмодуль скл дських з лишків медик ментів у лікув льній уст нові.

Модуль «Електронний реєстр рецептів»

Модуль н пр влено н полегшення пошуку т з мовлення ліків в птек х.

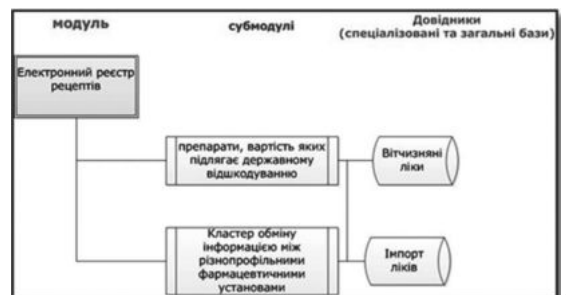


Рис. 7. Модуль «Електронний реєстр рецептів»

Скл д ється з субмодулів: Облік преп р тів, в ртість яких підляг є держ вному відшкодув нню т Кл стер обміну інформ цією між різнопрофільними ф рм цевтичними уст нов ми.

Т кож модуль вз ємопов'яз ний з модулем «Електронний лік рняний лист», для опер тивної перед чі інформ ції.

Модуль «Електронний лік рняний лист»

Д ний модуль сприятиме формув нню єдиної, вст новленої МОЗ форми лист тимч сової не пр цезд тності, оптиміз ції ведення контролю т н літичної ст тистики по груп х ді гнозів, формув ння ст тистичні д ні по перевищенню епідеміологічного порогу н селення т прогнозув ння под льшого розвитку з хворюв ності н селення.



Рис. 8. Модуль «Електронний лікарняний лист»

Модуль інтегрований з модулем «Електронна медична картка» та оргнізований передчідних у фонд соціального страхування, для оперативної передчі інформації, та своєчасних розхунків виплат по листку непрацездатності.

Всі згадані вище модулі, будуть інтегровані і вз'ємозв'язані для обміну інформацією в рамках всього лікувально-медичного комплексу, в режимі реального часу. Це дозволить впровадити робочий процес, керувати збереженням і пошуком інформації в устнові, створити документообіг безперервних носіїв і прискорити швидкість руху потоків пацієнтів, з стосування ефективну оптимізацію управління ресурсами устнові охорони здоров'я та управління її планувальними роботами всієї устнові в цілому.

6. Результати та подальші напрямки

У роботі опрацьовано нормативно-правовіспекти, що регулюють медичні огляди населення України, висвітлені сучасні тенденції демографічного спадку з пропонування методів обробки інформації системи «Hospital Management Information System» [7], які дозволяють удосконалити сервіс надання медичної допомоги та поліпшити загальний стан здоров'я нації. А також вдосконалити управління інформаційними потоками всередині окремо взятого медичного комплексу, запровадити моніторинг стану здоров'я населення та факторів, які на нього впливають, на різних рівнях управління регіональною охороною здоров'я.

Перспективи подальших розробок. Враховуючи, що кожний регіон України має свої особливості, які пов'язані як із соціально-економічним станом регіону, географічними особливостями, типом розселення населення, розвитком інфраструктури регіону, так і з медико-демографічною ситуацією та станом організації медичної допомоги населенню на всіх рівнях її надання з ходом реформування системи надання медичної допомоги населенню при загальному стратегічному урахуванні своїх регіональних особливостей. Тому логічним продовженням розробки ідей, викладених у статті, є необхідність подальшого вивчення організації структури організації управління охороною здоров'я з метою розробки та запровадження оптимальної інформаційної моделі проведення медичних оглядів, що дасть можливість запропонувати нові підходи з організації первинного медичного огляду населення у регіоні.

Список літератури: 1. Всесвітня організація охорони здоров'я - ВОЗ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.who.int/ru/>. 2. European health for all database/HFA-DB [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://data.euro.who.int/hfad/>. 3. World Population Prospects: The 2015 Revision// United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015 – Режим доступу: <http://esa.un.org/unpd/wpp/>. 4. Н зиров Т.А. Оптимизация управления здравоохранением в региональном уровне на базе информационных технологий / Н зиров Т.А., Костенко А. Б. // Компьютерні технології в міському та регіональному господарстві: м. Тернопіль. Міжнародна конференція, Хрків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – С. 42-43. 5. Identifying high-cost patients using data mining techniques and a small set of non-trivial attributes Seyed Abdolmotalleb Izad Shenasa, Bijan Raahemi a, Mohammad Hossein Tekieh b, Craig Kuziemsky// [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016792361500202X>. 6. Health Literacy in the eHealth Era: A Systematic // Henna Kim, Bo Xie [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0738399117300150>. 7. eHealth strategies and platforms - the issue of health equity in Sweden Sofie Hellberg, Peter Johansson [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221188371630082X>.

Resume

Background: The past ten years have seen the requirements for the application of automation are constantly increasing to improve support the process of providing medical assistance. In many cases, system development has followed the same course as the manual information system which it was meant to supplant, in that the system is designed to meet a specific reporting requirement or the needs of a specific group of users. The lack of information interchange has created redundancy in gathering information, often with differing definitions. Efforts to stimulate information interchange have demonstrated success within specific organizations using specific systems, but interchange between systems is costly and difficult, if not impossible, due to lack of uniform definitions and data representations.

Materials and methods: The health care delivery system both needs and generates information in the course of providing service to its patient. The heightened interest to the patient - medical staff relationship has resulted in ever increasing requests for information and serve to focus attention on the need for uniform data

Results: The article analyzes in detail the demographic situation of the Ukrainian population today. Possible ways of solving the problems of the current state of the health care system in Ukraine are proposed, with the help of optimization of management methods at the regional level using information technologies. To explore the concept of maximum utility, a model of the health care information system was postulated, and functional information categories identified. Application of other criteria resulted in identification of discrete items of information. Definitions and codes, where appropriate, are being developed. The potential usefulness of the concepts to the health care community at large are also discussed.

Conclusion: The work elaborates regulatory and legal aspects regulating medical examinations of the population of Ukraine, highlights current trends in demographic decline, and proposes methods for processing information in the "Hospital Management Information System" system, which will improve the provision of medical care and improve the general health of the nation.

Поступило до редакції 27.09.2017

В.П. Мананков¹, Е.А. Бизюк², А.В. Бизюк³¹ ХНУРЕ, м. Херсон, Украина, volodymyr.manakov@nure.ua;² ХНУРЕ, г. Харьков, Украина, katernyna.biziuk@nure.ua;³ ХНУРЕ, г. Харьков, Украина, andrii.biziuk@nure.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ОЦЕНОК КАЧЕСТВА UI/UX САЙТОВ

В статье рассматриваются проблемы исследования качества UI/UX сайтов. Анализируется современный дизайн, его изменение с ускорением темпа жизни и влияние на человека – пользователя. Рассмотрены составляющие экономического эффекта от улучшения юзабилити сайтов. Тестирование интерфейсов рассмотрено с точки зрения различных методологий, представлены их примеры. Формализацию оценки юзабилити предлагается проводить на основе опросных и сетевых технологий.

ДИЗАЙН, ТЕСТИРОВАНИЕ, ЮЗАБИЛИТИ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ, КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА UI/UX САЙТОВ

Мананков В.П., Бизюк Е.А., Бизюк А.В. Дослідження формальних оцінок якості UI/UX сайтів. У статті розглядаються проблеми дослідження якості UI/UX сайтів. Анализується сучасний дизайн, його зміна з прискоренням темпу життя і вплив на людину-користувача. Розглянуті складові економічного ефекту від поліпшення юзабіліт сайтів. Тестування інтерфейсів розглянуте з точки зору різних методологій, представлені їх приклади. Формалізацію оцінки юзабіліт пропонується проводити на підставі опитних і мережних технологій.

ДИЗАЙН, ТЕСТУВАННЯ, ЮЗАБІЛІТІ, ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕРФЕЙСІВ, КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ, ОЦІНКА ЯКОСТІ UI / UX САЙТІВ

Manakov V.P., Biziuk E.A., Biziuk A.V. Research of formal estimates of UI/UX sites quality. The article examines the problem of quality research of UI/UX sites. Analyzes modern design, its change with the acceleration of the pace of life and the impact on the human user. The components of the economic effect from the improvement of usability of sites are considered. Testing of interfaces is considered from the point of view of various methodologies, their examples are presented. Formalization of the usability assessment is proposed to be carried out on the basis of questionnaire and questionnaire technologies.

DESIGN, TESTING, USABILITY, DESIGNING OF INTERFACES, QUALITY CRITERIA, QUALITY ASSESSMENT OF UI / UX SITES

Введение

Существующие процессы разработки сайтов удовлетворяют основным техническим и рабочим требованиям. Внедрение пользователь-ориентированных методов снижает финансовые и временные затраты на разработку. Оценка интерфейсов пользователями на ранних стадиях разработки сайтов позволяет выявлять и устранять ошибки, что приводит к снижению финансовых и временных затрат.

1. Экономический эффект улучшения юзабилити интерфейсов

Большая часть всемирной сети интернет – коммерческая. И хотя созданы «всемирная паутина» для научно-исследовательских, информационных целей, тем не менее мощный инструмент распространения информации не мог не коммерциализироваться в условиях современной мировой экономики. Больше того, современная мировая экономика сегодня немыслима без интернет. Это не только способ связи, передатчик информации – большая часть предприятий с появлением сети переходит в онлайн. Волна подъема онлайн-бизнеса девяностых остановилась только во время «кризиса доткомов» в 2001 году. Процесс обоюден: коммерциализация подняла интернет на тот уровень,

который мы наблюдаем сегодня. Благодаря финансированию и поддержке простых пользователей гугл может теперь разработывать технологии нового века и запускать дроны в пустыне. Но что это дает людям? Бизнес, основа современной экономики, заинтересован в улучшении юзабилити интерфейсов не меньше, чем сам пользователь. От стихийного улучшения юзабилити дизайнеры больших корпораций давно перешли к системному подходу. Ведь тот, кто первый сделал свой интерфейс удобнее, быстрее и проще, получит больше всего последователей-пользователей, следовательно – рынок для своей продукции. Неудивительный момент ведущих компаний мод в дизайне интерфейсов несколько. Это те, кто разработывает платформы, операционные системы для техники. Эппл, Виндоус и Андроид – вот три кита современного информационного рынка, задающие стандарты интерфейсов сегодня. Выход нового айфон способен совершить революцию в дизайне интерфейсов по всему миру. Потому «Библией» современного дизайнера являются style guides, или гайды.

Ios guides от Apple, material design от Google и (неудивительный момент сдвигая позиции в связи с переходом на мобильный интернет) Windows с ее руководством по дизайну от Microsoft – их знание

сегодня обязательно для дизайнера. Дизайн унифицируется, поэтому большие корпорации взяли на себя роль всемирного законодателя мод в этой сфере.

Другая сторона повсеместного использования гаджетов (помимо прибыли корпораций) — унификация дизайна. Хорошо это или плохо? С одной стороны, меньше стало творческих дизайнеров. Цвет кнопки? Размер шрифта? Смотри в гайд. С другой стороны — веб-сфера становится однородней, узнавай, что поможет быстрее ориентироваться в море интернет.

Решаемые группами профессионалов задачи изменились таким образом, что в итоге в результате программным обеспечением (ПО) становится неотъемлемой частью их работы. Но далеко не все интерфейсы удовлетворяют основному принципу соответствия пользовательским задачам. Из-за этого несоответствия страдают работоспособность сотрудников, фирмы терпят убытки, случаются человеческие жертвы и наносится вред здоровью людей.

Суммарный эффект управления эргономичностью конечного продукта имеет комплексный характер, объединяя технико-экономическую, целевую и социальную составляющие [1]:

$$Eu_z = Et_z + Ec_z + Esoc_z, \quad (1)$$

где Eu_z — суммарный эффект управления эргономичностью в сфере использования конечного продукта; Et_z — технико-экономический эффект; Ec_z — целевой эффект; $Esoc_z$ — социальный эффект.

Технико-экономический эффект определяется сопоставлением затрат на осуществление управления эргономичностью с экономией, полученной при его реализации. Целевой эффект обусловлен ростом успешности выполнения целевой функции объекта качества в течение определенного временного интервала за счет устранения и выполнения эргономических требований.

Управление эргономичностью — условие повышения не только конкурентоспособности, но и рентабельности создания и производства высокоэргономичного продукта. При использовании модифицированной модели известного мериканского специалиста С. Синк результативность учета эргономических требований:

$$R = f(Q, V, \mathcal{E}P, Q_{тж}, I); \quad (2)$$

где Q — качество эргономичности (степень соответствия продукта эргономическим требованиям); V — количество произведенного продукта; $\mathcal{E}$ — экономичность, P_n / P_{ϕ} (P_n — плановые ресурсы, P_{ϕ} — ресурсы, фактически использованные); $Q_{тж}$ — качество трудовой жизни, характеризующее степень удовлетворенности работников средствами и условиями функциональной деятельности; I — инновации, новизна технологий, принципиально новых средств и методов, примененных при создании высокоэргономичного объекта качества.

2. Гуманистический (культурно-когнитивный) эффект улучшения юзабилити интерфейсов

Развитие технологий повлекло за собой разное развитие носителей интерфейсов, эволюция в носителях также повлекла за собой эволюцию в дизайне. Вслед за изменениями среды-носителя дизайна меняются и значения дизайнерских профессий. Но изменились ли суть работы с переходом на новые технологии? Нет. Суть работы дизайнера — делить вещь ближе к пользователю.

Современное ускорение процессов поглощения информации, увеличение её объемов — явление, исследуемое философией и психологией с конца двадцатого века. Ещё Тоффлер в книге «Футуришок» описывал и исследовал это явление [2]. Увы, повышение скорости восприятия информации человеческим мозгом имеет свою цену. Также есть и цена ускорения современной жизни. Если еще сто лет назад передвижение между городами занимало день, двести лет назад — неделю, то сегодня с молоты и скоростные поезда летят за часы. Письмо? Секунды. Свежая газетка? Пока грузится страница. Но как это повлияло на современного человека? Он стал быстрее читать? Возможно. Но стал ли он быстрее думать? Больше знать? Стал ли современный студент образованней, чем его предшественник из века девятнадцатого? Увы, человеческий мозг не всемогущ. За скорость мы платим поверхностностью знаний. Мы просматриваем сайты по диагонали, листаем страницы и обращаем внимание только на картинку и заголовки. Исследования современных меди [3] указывают, что среднее время от открытия страницы до прочтения первых заголовков, блиц и решения «читать ли далее» — 6 секунд. Всего 6 секунд, и чудесная статья змечательного вторичные страницы никогда не увидит в забвение.

В таких условиях вопрос качества интерфейса, его для удобства и скорости считывания информации становится первостепенным. Благодаря коммерциализации интернет, пользователь голосует теперь деньгами. Удобный интерфейс? Сайт-журнал читают. Его рекламируют. Ресурс процветает. Неудобный? Работает или поздно, он заканчивается, так как от посещаемости и результативности этой посещаемости зависит оплата работы многих людей, работающих над этим проектом. Даже такие вроде бы некоммерческие проекты, как социальные меди, на самом деле существуют за счет спонсорства и зависят от своей популярности.

Восприятие ускорилось и упростилось дизайн, но одновременно повысились требования к качеству работы дизайнера интерфейсов. В настоящее время очень много внимания уделяется соответствию продукта работы дизайнера всемирным стандартам гаджетов и принятию пользователями.

3. Систем Бен Шнейдерман

Введем немного терминологии для понимания пользовательских интерфейсов.

Интерфейс — это совокупность логических и физических принципов взаимодействия компонентов технических средств вычислительной системы, т. е. совокупность правил алгоритмов и временных соглашений по обмену данными между компонентами вычислительной системы (логический интерфейс), а также совокупность физических, механических и функциональных характеристик средств подключения, реализующих такое взаимодействие (физический интерфейс) [4]. Интерфейс простраивается на все логические и физические средства взаимодействия вычислительной системы с внешней средой, например, с операционной системой и пользователем.

Пользовательский интерфейс — это способ выполнения задания с помощью каких-либо программных средств, именно совершаемые действия и получение результатов этих действий [4]. У пользовательского интерфейса, как у человеческого взаимодействия, имеются две основные составляющие: часть, связанная с программно-программной реализацией интерфейса и часть, связанная с действиями со стороны пользователя. Но если машинная часть интерфейса имеет четко определенное поведение, то поведение пользователя полностью предсказать невозможно, поэтому при разработке интерфейса основным заданием — максимум учитывать человеческие возможности, способность к обучению, привычки и другие физиологические и психологические особенности. Каким же образом можно оценить и измерить человеческие особенности, чтобы применить полученные знания к разработке интерфейса?

Для этого есть эргономика — наука, изучающая действия человека в процессе работы, скорость освоения им новой техники, затраты его энергии, производительность и интенсивность при конкретных видах деятельности. Эргономика включает в себя непосредственно изучение человеко-машинного взаимодействия. В связи с этим можно определить эргономические показатели пользователя интерфейса — качественные и количественные характеристики человеко-машинного взаимодействия. Существует множество различных эргономических показателей, специфичных для каждого отдельно рассматриваемого проекта.

Существует несколько систем из эргономических показателей. Наиболее известный момент одной из наиболее распространенных систем является система показателей Бен-Шнейдермана [5]. Эта система включает в себя следующие характеристики:

- скорость работы пользователя;
- количество человеческих ошибок;
- субъективная удовлетворенность;
- скорость обучения и время оперирования интерфейсом;
- степень сохранения этих навыков при неиспользовании программного средства.

У системы показателей Бен-Шнейдермана есть свои достоинства и недостатки. Основное преимуще-

ство этой системы — ее предметность. Улучшить показатели перечисленных характеристик — гораздо более конкретная задача, нежели задача «сделать интерфейс более удобным». Также показатели Шнейдермана можно в той или иной степени измерить, то есть дать им количественную оценку, в соответствии с результатами каждой итерации по улучшению этих показателей дать качественную оценку пользовательского интерфейса. В итоге, что полученные результаты могут однозначно интерпретироваться как одним участником команды разработчиков, что позволяет облегчить коммуникацию с его вопросами изменений в интерфейсе программного средства.

Однако, в системе показателей Бен-Шнейдермана имеются и недостатки.

Во-первых, описанная модель не учитывает всех возможных показателей, что может вызвать искажение результатов.

Во-вторых, некоторые показатели Бен-Шнейдермана в большинстве случаев конфликтуют между собой. К примеру, если основная цель разработчиков — максимум увеличить скорость работы пользователя, то зачастую произойдет снижение скорости обучения системе. В связи с этим высоких показателей сразу всех характеристик модели добиться практически невозможно. Считается, что, как правило, высоких значений можно добиться только по двум показателям модели Шнейдермана.

Третьим недостатком системы можно отметить то, что не существует абсолютной шкалы измерений каждого из показателей. Вместе с тем модель Шнейдермана является полезным средством в определении точных характеристик интерфейса, поэтому зачастую это весьма полезный инструмент в его разработке.

Однако подход к оценке качества пользовательского интерфейса на основе модели Шнейдермана фрагментарен, поскольку концентрируется на оценке отдельных характеристик. Существует более целостный подход к вопросу об удобстве использования интерфейсов — это юзабилити.

4. Юзабилити и тестирование

Существует большое количество определений понятия «юзабилити». Рассмотрим три наиболее часто встречающихся определения.

Согласно международному стандарту (ISO 9241-11) юзабилити — это степень эффективности, трудоемкости и удовлетворенности, с которыми продукт может быть использован определенными пользователями при определенном контексте использования для достижения определенных целей.

Определение, предложенное UPA (Usability Professionals Association) концентрируется больше на понятии юзабилити в контексте процесса разработки программного продукта: «Юзабилити — это подход к разработке продукта, который вовлекает обратную связь с пользователем на всех этапах

р зр ботки с целью созд ть продукт, отвеч ющий нужд м пользов теля»

Стив Круг в своей книге д ет следующее простое определение: «В действительности юз били ти — просто убеждение в том, что что-то р бот ет хорошо — будь то веб-с йт, пульт упр вления или вр щ ющ я дверь — по прямому н зн чению и не ост вляет пользов теля безн дежно р зоч ров ным» [6]. Гуру юз били ти докомпьютерной эры Дон льд Норм н в своём труде «Диз йн привычных вещей» [7] с ним солид рен: «В любом случ е если для т кой простой вещи, к к дверь, требуется инструкция, хотя бы д же из одного слов , зн чит, её диз йн никуда не годится».

Все эти три определения, к к и другие определения юз били ти сводятся к следующему:

- пользов тель вовлечен в процесс;
- пользов тель производит некоторые действия;
- пользов тель производит некоторые действия с системой, продуктом или предметом.

Т ким обр зом, понятие «юз били ти» предост вляет полноценный контекст для р боты с пользов тельским интерфейсом, в отличие от модели Шнейдерм н : сред , в которой пользов тели вз имодействуют с продуктом — условия для н лиз пользов тельского интерфейса .

В результ те возник ет вопрос о человеческом ф кторе в юз били ти. Человеческий ф ктор считается основопол г ющим в д нном подходе к диз йну, в этой новой методологии диз йн (Human Centered Design) [8].

Эт концепция известн т к же, к к «Human oriented design», «People oriented design» или в более узком смысле — «User oriented design». Человеко-ориентиров нный диз йн — подход к созд нию проектов, в которых ключевую роль игр ют потребности людей. Методологии, изуч ющие техники проектиров ния вз имодействия человек и мшины, н ч ли появляться во времен р звития компьютерных технологий ещё в 1980-х год х. Р нние методологии восприним ли когнитивные процессы пользов телей к к ст тичные, предск зуемые и подд ющиеся н учным исследов ниям. В к честве основы они предл г ли р зр ботчик м при проектиров нии пользов тельских интерфейсов опир ться н исследов ния в т ких обл стях когнитивной психологии, к к п мять и вним ние. Но этот подход потерпел пор жение в связи с стремительным ростом отр сли и изменением со зн ния пользов телей, ростом их вовлеченности в индустрию. Скорость восприятия вз имодействия с интерфейсом росл экспоненци льно с к ждым новым поколением пользов телей. Современные модели имеют тенденцию кцентиров ть вним ние н постоянной обр тной связи и ди логе между пользов телями и интерфейс ми. Они строятся вокруг обуч емости пользов теля, его жел ний и стремлений. Вот почему человеко-ориентиров нный диз йн ст л ведущей концепцией в юз били ти интерфейсов.

Основное отличие концепции «человеко-ориентиров нного диз йн » от «человеческого ф ктора » в том, что эт философия диз йн кцентрирует своё вним ние больше н пользов телях, р бот ющих предпочтительнее с современными интерфейс ми, чем с другими вид ми. Т кже человеко-ориентиров нный диз йн является более широким понятием, с меньшим кцентиров нием вним ния н з д ч х и процедур х и меньшим кцентиров нием н физическую н грузку, истек ющую из формы диз йн устройств интерфейс (т ких к к кл ви тур и мышь, которые уже сменяются т ч п д ми).

Профессиона льные н гр ды в сфере юз били ти существуют, всемирные конференции регулярно проводятся, но всемирное призн ние ведущих специ листов, успех докл дов и презент ций всего лишь з д ют общий тон всемирным тенденциям.

У производителей нет оценочных критериев, кроме внутренних, которые они могли бы использовать в рекл мных целях. Эти критерии н зыв ются фирменным стилем, философией продукт и бренд . Экспертные оценки, которые сейч с предост вляет множество фирм, не привяз ны к единой шк ле и ч сто оценив ют р зные п р метры с использованием специ лизиров нных метрик. Н рынке не существует ни офици льного, ни отр слевого де-ф ктора принятого всеми ст нд рт . Но существует неофици льный.

С мые крупные IT-комп нии, з д ющие моду н глоб льные тренды диз йн , р зр б ть ют UI guides (г йды или руководств по интерфейс м). Обяз тельно ли полностью соблюд ть г йды в диз йне мобильных приложений? З чем придержив ться этих рекоменд ций? С одной стороны, эти комп нии проводят н иболее м шст бные исследов ния по юз били ти, которые и воплощ ются в их руководства х для диз йнеров. С другой стороны, пользов тели легче обуч ются новым вз имодействиям, если ч сть из них уже зн комы по другим приложениям и с йт м, выполненным согл сно г йд м. С третьей — не в к ждом новом приложении или с йте эти г йды р бот ют н пользов теля. Иногда увлечение букв льным следов ниям рекоменд циям быв ет во вред проекту, интерфейсу конкретного продукт в целом.

Тестиров ние методом черного ящик . Тестиров ние "черного ящик " — это вид тестиров ния, проводимый без зн ния внутренних мех низмов р боты продукт . Производится н основ нии внешних проявлений р боты продукт . В термин х прогр ммного обеспечения под тестиров нием "черного ящик " обычно подр зумев ют тестиров ние через интерфейс пользов теля, не имея доступ к исходному коду продукт [4].

Юз били ти, особенно сложных систем, сложно определить до того, к к пройдет длительный период использов ния продукт . То есть потребитель не имеет возможности оценить в жную х р ктеристику к честв продукт . И тут в дело

вступ ет тестиров ние. Оно имитирует з грузку поток пользов телей и время, прошедшее з период пользов ния с йтом.

Тестиров ние является одной из ведущих н сегодня методологий оценки к честв диз йн интерфейсов с йтов. Т к к к современн я сред для диз йн постоянно меняется, с м диз йн и его восприятие з висят от пользов телей, ничего не ост ется, к к спросить их с мих. Потому тестиров ние — это основ всех р зр боток в юз билити, н нём строятся г йды и по его результ т мч сто выби р ют, к кой в ри нт диз йн будет иметь пр во н жизнь (т к к к от этого выбор ч сто з висят миллионные прибыли корпор ций, то одного мнения диз йнер , созд ющего интерфейс, недост точно).

Тестиров ние удобств пользов ния (юз билити) — это вид тестирования, который проверяет с йт н удобство и пр ктичность в использов нии. Включ ет в себя тесты н человеческий ф ктор, эстетику интерфейс и его непротиворечивость, н личие и к чество опер тивной и контекстной помощи, руководств и учебных м тери лов. Тестиров ние удобств пользов ния — это метод тестирования, н пр вленный н уст новление степени удобств использов ния, обуч емости, понятности и привлек тельности для пользов телей р зр б тыв емого продукт в контексте з д нных условий.

Тестиров ние же интерфейс — это совершенно другой вид тестов. Это тестиров ние гр фического интерфейс пользов теля, которое предпол г ет проверить с йт н соответствия требов ниям к гр -фическому интерфейсу, профессиона льно ли оно выглядит, выполнено ли оно в едином стиле.

5. Критерии проверки к честв UI/UX с йтов

Исходя из концепции первенств человеческой ре кции н к чество UI/UX с йтов, основным критерием будет ре кция пользов теля н продукт диз йн UI/UX диз йнер , в д нном случ е — с йт . Человеческую ре кцию изуч ет т к я обл сть ИТ р зр ботки, к к тестиров ние [9]. В д нном случ е н с в исследов ниях будет интересов ть тестиров ние юз билити и тестиров ние интерфейсов. Это дв р зличных вид тестирования. Их предпочитают проводить методом черного ящик (хотя ч сть процессов может быть втом тизиров н для удешевления процессов тестирования, втом тизацию мы р ссм трив ть не будем, потому что он проводится н больших объем х м тери л , который предпол г ет большие проекты, з пущенные и р бот ющие в интернете). Метод черного ящик в тестиров нии изуч ет ре кции пользов теля, не зн комого с внутренней мех никой р боты с йт .

Второй группой критериев проверки к честв UI/UX с йтов будет когнитивн я сост вяющ я восприятия диз йн . Он тоже основ н н человеческом ф кторе и ориентиров н н человек -пользов теля. Он незн чительно изменил сь с появлением новой форм ции пользов телей,

воспит нных в эру технологий. Сейч с её используют, к к основу обучения диз йнеров, в том числе и диз йнеров интерфейсов. Это художественн я теория. Устройство человеческого гл з , р бот рук и восприятие визу льной информ ции слишком медленно меняется, чтобы художественн я теория перест л быть применимой в к честве оценочного пп р т к визу льным сред м, т ким, к к диз йн интерфейс . К ней доб вяются исследов ния когнитивной психологии, т кие, к к восприятие информ ции всем телом.

6. Форм лиз ция оценки к честв н основе н учного метод позн ния

Это, пож луй, с м я сложн я ч сть в приложении к отр сли, опир ющейся н гум нит рные исследов ния [10]. Исходя из н блюдений з действиями пользов телей, сформиров лись некоторые своды пр вил юз билити интерфейсов с йтов. Н пример, пр вило 7+2, основыв ющееся н р зр ботк х когнитивной психологии: человек способен держ ть в кр тковременной п мяти не более 5-9 сущностей. Поэтому не следует р змещ ть в н виг ции больше 7 пунктов. Оди ко эти пр вил , опир ющиеся н психологию теории восприятия и художественную теорию, не являются чем-то фундамент льным. Несмотря н то, что мы ук зыв ли н медленное изменение человеческого созн ния (бл год ря которому р бот ют принципы художественной теории, они являются применимыми в р зр ботке диз йнов интерфейсов), человечество всё же меняется. Эти пр вил юз билити, они не форм лизуемы. Не существует точных формул кр соты или г рмонии. Золотое сечение в ряде случ ев д ёт сбой н пр ктике. Ин че не было бы эпохи модерн в диз йне полигр фии, и мы бы до сих пор чит ли бы книги в один ковом, ренесс нсном форм те, н бр нные нтиковой.

К к же форм лизиров ть оценочную сост вяющую, критерии подход к к честву юз билити интерфейсов? Мнение ч сти ведущих укр инских диз йнеров по этому вопросу сводится к одному — постоянной проверке пользов телем, точнее — всем социумом. Соци льн я сост вяющ я диз йн , в том числе интерфейсов, изучен м ло (по причине слишком стремительного р звития отр сли диз йн). Потому сейч с ктивно н р б тыв ется пр ктическ я б з : курсы диз йн переориентируются н р боту с человеческой сост вяющей, меняется с м суть препода в ния, предмет сост вяют уже не методики р боты или изучение прогр мм, пользов тели, вз имодействие с ними, коммуник ция и влияние диз йнер н продукт диз йн .

Выводы

Т ким обр зом, н основе исследов ний х р ктер вз имодействия пользов теля с интерфейсом веб-приложения, можно конст тиров ть следующее:

– экономический эффект от улучшения эргономичности пользовательских интерфейсов определяется совокупностью эффектов от улучшений в технической, целевой и социальной составляющих;

– оценку можно проводить к многокритериальную задачу, опирающуюся на результаты пользовательского тестирования.

Список литературы: 1. Свиридов, В. А. Человеческий фактор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/ URL: http://nafanin.deda.ru/human-factor/human-factor-spreads.pdf](http://nafanin.deda.ru/human-factor/human-factor-spreads.pdf) – 2013. – 3 гл. с экран. 2. Э. Тоффлер, Футурошок, М.: АСТ, 2008. – 560 с. 3. Контент-маркетинг – как повысить эффективность? // [lpgenerator.ru: информ.-справочный портал. 2011–2017. Режим доступа: \[www/ URL: http://lpgenerator.ru/blog/2014/04/12/kontent-marketing-kakova-idealnaya-dlina-zagolovka\]\(http://lpgenerator.ru/blog/2014/04/12/kontent-marketing-kakova-idealnaya-dlina-zagolovka\) \(дата обращения: 24.03.2017\) – 3 гл. с экран. 4. Джеффри Р. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. М.: Символ-Плюс, 2004. – 272 с. 5. Vitaly Friedman, 30 Usability Issues To Be Aware Of // Режим доступа: \[www/. URL: http://www.smashingmagazine.com/\]\(http://www.smashingmagazine.com/\), 2007. \(дата обращения: 24.03.2017\) – 3 гл. с экран. 6. Стив Круг. Не заставляйте меня думать! – М.: Эксмо-Пресс, 2017. – 256 с. 7. Донльд А. Норман. Дизайн привычных вещей: Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2006. – 384 с. 8. Human-Centered Design: an Introduction. Обзор и прогресс курса. // Coursera Inc информ.-справочный портал. Режим доступа: \[www/ URL: https://ru.coursera.org/learn/human-computer-interaction\]\(http://www/URL:https://ru.coursera.org/learn/human-computer-interaction\) \(дата обращения: 24.03.2017\) – 3 гл. с экран. 9. Tom Tullis, Bill Albert Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics, 2008. 10. Naveed Ahmad Aimal Rextin Um E Kulsoom. Perspectives on usability guidelines for smartphone applications: an empirical investigation and systematic literature review. Information and Software Technology. Available online 10 October 2017.](http://lpgenerator.ru/информ.-справочный-портал.2011-2017.Режим-доступ:www/URL:http://lpgenerator.ru/blog/2014/04/12/kontent-marketing-kakova-idealnaya-dlina-zagolovka)

Resume

V.P. Manakov, E.A. Biziuk, A.V. Biziuk RESEARCH OF FORMAL ESTIMATES OF UI / UX SITES QUALITY

Background: Existing processes of development of sites give the main role to technical and working requirements. The introduction of user-oriented methods reduces financial and time development costs. The technical and economic effect

is determined by comparing costs on realization of management by ergonomics with savings, obtained during its implementation. The target effect is caused by the growth in the success of the target function implementation of the quality object during a certain time interval due to the establishment and implementation of ergonomic requirements. Evaluation of interfaces by users at different stages of site development allows identifying and eliminating errors in them, which leads to reduction in financial and time costs.

Materials and methods: The work uses a multi-criteria analysis of the quality of UI / UX with the identification of technical, target and social components. Currently, one of the most common systems is Ben Schneiderman's scoring system, the described model does not take into account all possible parameters, which can cause distortion of results and, therefore, requires adaptation in each specific case. In particular, the formalization of the new design methodology Human Centered Design and the emphasis on the social component of design can ultimately yield significant results. The human factor is considered fundamental in this approach to design, in contrast to the very common machine-oriented methodology of Machine Centered Design.

Results: Testing is one of the leading methodologies for assessing the quality of site interfaces design. During the research, the analysis of the used quality assessment systems for UI / UX sites was performed. The use of the social component in site evaluation is suggested, namely, the users' opinion as the product testers at different stages of development (A and B testing). To select criteria for evaluating usability criteria based on the cognitive component of the perception of design are proposed. These criteria are also based on the human factor and are oriented at the human-user. The formal generalization of the obtained estimates is based on statistical methods of data processing, but the specific of testing conditions make it possible to significantly reduce the survey base and speed up the time of obtaining the results.

Conclusion: The article proposes a generalized structure of a multi-criteria system for assessing the quality of UI / UX sites using formal methods for summarizing the opinions of end users. The testing is based on the processing and adaptation for a specific task of UI guides - guides or guides for interfaces implemented by the firm-developer. The main assessment of the quality of usability is the opinion of users obtained by the questionnaire method on compliance with guides. The main goal of improving usability is considered to be the economic effect, which expresses an increase in the usability of the site.

Поступил в редколлегию 06.09.2017

УДК 004.054

О.О. М когон¹, А.В. Вовк¹, В.Ф. Тк ченко¹¹ХНУРЭ, г. Х рьков, Укр ин , makogon261995@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНИВАНИЯ ВЕБ-САЙТА СРЕДСТВАМИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Р бот посвящен выбору группы критериев оценки к честв с йт , которые могут использовать технические специ листы для уменьшения время з тр т в процессе р зр ботки и тестиров ния. Про н лизиров ны особенности появления веб-стр ницы н определенной позиции в поисковой системе. Собр н фокус-групп для выбор льтерн тив, проведено исследование методом экспертной оценки и про н лизиров ны полученные результ ты. Определены и систем тизиров ны критерии оценки, что позволяет д ть количественную оценку веб-ресурс м.

ИНТЕРНЕТ, САЙТ, ВЕБ-СТРАНИЦА, ИНТЕРФЕЙС, ЭКСПЕРИМЕНТ, ЭКСПЕРТ, КРИТЕРИЙ, АЛЬТЕРНАТИВА.

М когон О.О., Вовк О.В., Тк ченко В.П. Розробк методики оцінюв ння веб-с йт з соб ми експерименту. Робот присвячен вибору групи критеріїв оцінки якості с йту, які можуть використовув ти технічні спеці лісти для зменшення з тр т ч су в процесі розробки т тестув ння. Про н лизов ні особливості з'явлення веб-сторінки н визн ченій позиції в пошуковій системі. Зібр н фокус-груп для вибору льтерн тив, проведено дослідження методом експертної оцінки, т про н лизов ні отрим ні результ ти. Визн чені т систем тизов ні критерії оцінки, що дозволяє н д в ти кількісну оцінку веб-ресурс м.

ИНТЕРНЕТ, САЙТ, ВЕБ-СТОРИНКА, ИНТЕРФЕЙС, ЕКСПЕРИМЕНТ, ЕКСПЕРТ, КРИТЕРИЙ, АЛЬТЕРНАТИВА.

Makogon O. O., Vovk O. V., Tkachenko V. P. Developing a method for evaluating a web site by means of an experiment. The work is devoted to the selection of a group of site quality evaluation criteria that technical experts can use to reduce the time spent in the development and testing process. The peculiarities of appearance of a web page on a certain position in the search system are analyzed. A focus group was selected to select alternatives, a peer review was conducted and the results were analyzed. The evaluation criteria are determined and systematized, which allows to give a quantitative estimate of web resources.

INTERNET, SITE, WEB-PAGE, INTERFACE, EXPERIMENT, EXPERT, CRITERION, ALTERNATIVE.

Введение

Чем выше позиция веб-с йт в поисковой системе, тем больше вероятность, что пользователь посетит с йт, поскольку по статистике Google з 2016 г. примерно 99,9% з ходит по первым трем ссылк м по результ т м выд нной поисковой системой, д лее количество посетителей стремится к уменьшению — до десятой ссылки первой стр ницы выд чи добир ются 20-30% пользователей. Н вторую стр ницу выд чи поисковой системы з ходят 10-20%. По д нной статистике можно ск з ть, что для любого веб-с йт жел тельно поп сть в первую десятку поисковой выд чи. Н сегодняшний день, с йтов-конкурентов дост точно много [1].

Для привлечения пользователей веб-стр ницу необходимо ее к чественн яре лиз ция. Создание веб-документ н прямую з висит от р зр бот нного пользователя интерфейса (UI/UX), т.е. в к ком виде информ ция будет предст влен ко-нечному пользователю; от того, н сколько пользо-в тельский интерфейс будет функцион лен, поня-тен и удобен пользователю.

1. Постановка задачи

Актуальность выбранной темы з ключ ет-ся в следующем. В н стоящее время существует

большое количество инструмент льных средств для р зр ботки интерфейса с йт , поддержив ющих р зличные методы его ре лиз ции. Одн ко от-сутствует общепринятый н бор критериев, по ко-торым можно оценить его к чество, что з трудняет ср внение существующих веб-с йтов между собой.

Целью р боты является выбор группы критериев к честв с йт , для уменьшения з тр т времени в процессе р зр ботки и тестирования веб-с йтов.

З д чей исследование является уточнение и систем тизиров ние критериев оценки Интернет ре-сурсов с помощью группы экспертов.

2. Составление плана проведения исследования

Любое исследование н чин ется с составления плана исследования (или программы исследования). Планирование исследования необходимо для обоснования выбора критериев оценивания к честв пользователя интерфейса , проведения эксперимента и обр ботки эксперимент ль-ных д нных.

План исследования — это групп пок з телей, включ ющих последовательные действия для до-стижения поставленной цели исследования [2].

Планирование эксперимента включает ряд эт -пов:

— установление цели эксперимента (целью данного исследования является уточнение и выбор критериев для оценки просматриваемой веб-страницы);

— выявление и выбор критериев оценивания;

— уточнение условий проведения эксперимента (эксперимент проводится в соответствии с протоколом, также документом, в котором необходимо указать базовому критерию);

— установление точности результатов измерений с помощью метода сравнения альтернатив, метод будет использоваться для сравнения критериев в принятии решения. С учетом этого обстоятельств, каждой альтернативе присуждается свой балл (баллы экспертов), в значение которого входит характер возможных последствий принятого решения. Оценка каждой альтернативы осуществлена в отношении каждого из критериев по порядковой (ранговой) шкале.

План исследования:

— определение набор критериев для оценки;
— составление документации проведения исследования;

— набор группы экспертов;

— проведение эксперимента;

— анализ полученных данных.

3. Описание методики проведения исследований

Методы планирования эксперимента позволяют минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов [3].

Методология эксперимента — это общая структура эксперимента, т.е. постановка и последовательность выполнения экспериментальных исследований [4].

Методики проведения эксперимента:

— для определения набора критериев оценки с помощью используется метод фокус-групп. В группу входят обычные пользователи интернет ресурсов и квалифицированные специалисты — тестировщики программных продуктов. Численность группы составила 8 участников;

— экспертная оценка будет использоваться для оценки выбранных критериев. В группе экспертов будут люди, имеющие опыт в тестировании и разработке пользовательских интерфейсов; экспертная оценка будет проводиться лично согласованно с сопровождающей документацией. Оценка выбранных критериев будет проходить по заранее подготовленной шкале оценки критериев;

— метод сравнения альтернатив — данный метод будет использоваться для сравнения альтернатив (критериев) в принятии решения. Каждой альтернативе присуждается свой балл. Оценка каждой альтернативы осуществлена в отношении каждого из критериев по ранговой шкале.

4. Выбор и обоснование критериев оценки качества

Критерий оценивания — это средство оценивания, содержащее список критериев оценки заданная. Критерий оценивания представляет собой набор отдельных частей и описывает особенности выполнения каждой из частей в зависимости от уровня сложности [5].

Оценщик устанавливается с помощью главного критерия — видимость веб-документа поисковой системой. Поскольку главной задачей интернет ресурс является предоставление пользы пользователям.

По результатам собрания фокус-группы были определены группы критериев оценки качества с помощью, именно:

— внешний вид;

— структурная организация;

— контент (содержание);

— простота;

— юзабилити.

После проведения конструктивного собрания данных групп из чего следует:

— внешний вид веб-документа выдвигается на первый план, поскольку дизайн веб-сайта является главным и чаще всего единственным критерием его качества;

— структурная организация под этим понимается управление контентом (содержанием) веб-страницы, также различных сервисов. Например, «корзина», «поиск», «форма регистрации пользователя и т.д. Функциональность сайта должна быть простой и удобной, так как к работ с ней будут простые пользователи ПК, которые могут ничего не знать про Web-дизайн и HTML;

— простота веб-сайта подразумевает визуальные стили, такие как блокировки цвета или большие фотографии, и функциональные тенденции, такие как инновационные и традиционные структуры, все они могут быть объединены с методами и целями, стоящими за простым дизайном;

— основным критерием оценки качества является удобство использования веб-страницы (usability). С помощью дружественного по отношению к пользователям сайта можно завоевать их доверие, плохой сайт может его только подорвать.

Многочисленные исследования показывают, что сайты, которые созданы в соответствии с принципами юзабилити, не только популярны и имеют более высокую статистику посещений.

Таким образом, можно сделать вывод, что организация веб-сайта должна быть простой и удобной, веб-страницы должны загружаться быстро. Например, если происходит процесс, требующий времени, такой как загрузка изображения, процессом будет выводиться статус-бар (преلودер), чтобы пользователи понимали, что сайт не завис, идет загрузка.

Были выбраны критерии оценивания с помощью:

— время загрузки;

- единый стиль оформления (цвет, шрифты, гр - фик);
- количество кликов для достижения конечной стр ницы с йт – не более 3-х;
- удовлетворит ли с йт целевую удиторию;
- сб л нсиров н м кет стр ницы и не перегружен он информ цией;
- к чественн ли гр фик и сочет ется он с ост льными сост вляющими веб-документ ;
- не меш ет гр фик восприним ть информ - цию;
- чит бельность текст ;
- слив ется ли текст с фоном;
- доступность обр тной связи;
- р сположение н виг ции один ково от стр - ницы к стр нице;
- пр вильность р боты ссылок;
- понятно ли пользов телю, куд ведут ссылки;
- простот использов ния н виг ции;
- присутствуют тупиковые стр ницы;
- присутствие всплыв ющих подск зок;
- присутствие лишних или пустых стр ниц н с йте;
- возможность вернуться н предыдущий уровень;
- соответствие основной информ ции н зн чению с йт ;
- н личие ошибок в тексте;
- достоверность информ ции;
- н личие поиск ;
- р бот с йт во всех бр узер х;
- д птивность с йт ;
- н личие форм регистр ции и пр вильность их р боты (если присутствует н с йте);
- функция отключения музыки (если необходимо);
- возможность использов ния с йт пользов - телями с огр ниченными возможностями.

5. Проведение эксперимент

Экспертное оценив ние – процедур получе- ния оценки проблемы н основе мнения специ- листов (экспертов) с целью последующего приня- тия решения (выбор) [6, 7].

Эксперты должны обл д ть опытом в обл сти р зр ботки и тестиров ния веб-с йтов. При под- боре экспертов учтён момент личной з интересо- в нности. При н боре экспертов воспользов лись методом Ш р , когд один эксперт, н иболееув ж - емый специ лист, порекомендов л ряд других [8].

В группу было н бр но 10 экспертов р зной возр стной к тегории, половин из которых з ни- м ется р зр боткой веб-ресурсов, ин я половин з ним ется процессом тестиров ния веб-с йт .

Эксперимент проводился з очно, и результ ты предст влены в т бл. 1.

6. Эксперимент льн яч сть

Экспертное оценив ние предпол г ет созд ние некого р зум , обл д ющего большими способностями по ср внению с возможностями отдельного челове- к [10, 11].

Экспертный подход позволяет реш ть з д чи, не подд ющиеся решению обычным н литиче- ским способом. Проверк согл сов нности мне- ний экспертов при оценке объектов проведен при помощи р нжиров ния.

В д нной з д че используется более 2-х льтерн - тив, поэтому используется коэффициент конкорд - ции Кенд лл [10], определяемый по формуле:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (1)$$

где $m = 10$ – количество экспертов; $n = 31$ – коли- чество льтерн тив; S – среднекв др тическое от- клонение всех оценок р нгов, к ждой льтерн тивы от среднего зн чения и определяется по формуле:

$$S = (d_i - \bar{d})^2, \quad (2)$$

где d_i – сумм р нгов i -ого пок з теля по всем экс- перт м, определяется по формуле:

$$d_i = \sum r_{ij}, \quad (3)$$

r_{ij} – сумм р нгов i -ого пок з теля определенного j -ым экспертом; $\bar{d}$ – усредненное зн чение ль- терн тив:

$$\bar{d} = \frac{n(n+1)}{2}. \quad (4)$$

Решение:

$$d_i = 10,$$

$$\bar{d} = \frac{31 \cdot (31+1)}{2} = 496,$$

$$S = (10 - 496)^2 = 486^2 = 236196.$$

Определяем коэффициент конкорд ции:

$$W = \frac{12 \cdot 236196}{10^2 \cdot (31^3 - 31)} = \frac{2834352}{2976000} = 0,9524.$$

Зн чение коэффициент конкорд ции лежит в предел х $[0;1]$:

- 0 – отсутствие согл сов нности экспертов;
- 1 – полн я согл сов нность экспертов.

Полученное зн чение коэффициент конкорд - ции 0,9524 из чего можно сдел ть вывод, что экс- перты согл сов ны.

В т бл. 2 предст влены льтерн тивы и их сум- м рный б л от м ксим льного к миним льному.

В процессе проведения н лиз экспертных оценок выявлено, что оценки экспертов согл со- в ны, откуд следует, что при оценке льтерн - тив исследов ния эксперты сходятся во мнении. Можно сдел ть вывод, что исследов ние прошло уд чно и результ ты экспертизы можно использо- в ть в сфере тестиров ния веб-с йтов.

Коэффициент конкорд ции $W=0,9524$ стремит- ся к единице, из чего следует, что льтерн тивы (критерии) имеют влияние друг н друг , зн чит, з сед ние фокус-группы при выборе критериев т к- же прошло успешно.

По результ т м исследов ния можно выделить группу т ких критериев оценки к честв с йт , б лл которых выше 70, именно по т ким крите- риям можно оценить веб-ресурс в сети Интернет.

Т блиц 1

Оценки экспертов

Альтерн тив	Эксперты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Опр вдыв ет ли себя время з грузки стр ницы?	9	9	10	10	9	10	9	9	9	10
Выдерж ны ли цвет , шрифты, гр фик в едином стиле	7	7	8	8	6	8	8	6	7	7
Для того, чтобы н йти нужную информ цию, пользо телю приходит ся дел ть не более 3х кликов?	8	8	10	9	8	9	9	8	8	8
Удовлетворит ли с йт целевую аудиторию?	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9
Сб л нсиров н ли м кет стр ницы и не перегружен ли он информ цией (особенно к с ется гл вных ст ниц)?	6	6	5	7	6	5	7	6	6	6
К чественн ли гр фик и сочет ется ли он с ост льными сост вляю щими стр ницы?	4	5	3	5	4	4	5	4	4	5
Не меш ет ли гр фик пользо телю восприним ть информ цию?	8	8	9	8	7	8	8	7	8	8
Не «режут» ли цвет с йт гл з ?	7	6	6	7	7	7	7	7	7	6
Легко ли чит ется текст?	10	10	10	9	10	10	9	10	10	10
Не слив ется ли текст с фоном?	9	10	10	9	10	10	9	10	9	10
Доступн ли обр тн я связь?	4	6	5	4	5	5	4	5	4	6
Р сположен ли н виг ция в одном и том же месте н всех стр ниц х?	9	9	10	8	10	9	8	10	9	9
Все ли ссылки р бот ют верно?	10	9	10	9	10	10	9	10	10	9
Есть ли в н виг ции ссылк обр тной связи?	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7
Просто ли использов ть н виг цию?	8	9	10	7	9	10	7	9	8	9
Нет ли тупиковых стр ниц?	8	6	6	9	7	8	9	7	8	6
Понятно ли пользо телю, куд ведут ссылки?	10	7	9	10	9	9	10	9	10	7
Позволяет ли н виг ция вернуться н предыдущие подуровни?	9	8	8	7	9	8	7	9	9	8
Если в н виг ции использов ны иконки, то есть ли к ним текстовое пояснение или всплыв ющие подск зки?	9	9	8	10	9	8	10	9	9	9
Понятно ли предн зн чение к ждой стр ницы? Нет ли лишних?	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6
Отр ж ет ли содерж ние н зн чение с йт ?	9	8	10	9	9	9	9	9	9	8
Удовлетворит ли контент пользо теля?	9	7	8	8	8	8	8	8	9	7
Есть ли гр мм тические или синт ксические ошибки?	8	7	7	9	8	7	9	8	8	7
Достоверн ли информ ция?	9	6	9	8	10	8	8	10	9	6
Если с йт р спол г ет большим количеством информ ции, то предус мотрен ли поиск?	5	6	7	7	8	5	7	8	5	6
Р бот ет ли с йт н всех пл тформ х и бр узер х?	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7
Можно ли просм трив ть с йт н р зных р зрешениях?	8	7	8	9	8	8	9	8	8	7
Если есть формы, то орг низов ны ли они логически?	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5
Все ли компоненты с йт функционируют корректно?	9	8	9	8	8	8	8	8	9	8
Могут ли люди с огр ниченными возможностями просм трив ть с йт?	5	3	4	3	4	4	3	4	5	3
Есть ли функция отключения музыки?	10	9	10	10	10	10	10	10	10	9
Сумм	242	227	244	241	243	241	240	243	242	228

Выводы

В д нной ст тье р ссмотрены поисковые системы, основной целью которых является предост вление своим пользо телям к чественной информ ции. Для того, чтобы повысить к чество обр ботки с йтов, р зр б тыв ют ст нд рты и специфик ции, в соответствии с которыми ведется обр ботк , предост вляют определенную спр вочную информ цию и сервисы веб-м стер м для оценки к честв с йт и устр нения проблем индек сии.

Был определен групп критериев, которые д ют возможность количественно оценить интернет ресурс и сдел ть вывод о к честве его выполнения.

В р боте д нные критерии будут использов ться в виде список , которым присужд ется три вид оценок:

- «-1» — не соответствует критерию;
- «0» — требует дор ботки;
- «+1» — полностью соответствует критерию.

После того к к специ лист по тестиров нию выст вит оценки льтерн тив м можно будет ск з ть о к честве тестируемого с йт , именно:

— если оценок со зн ком минус, то с йт необходимо отпр вить в отдел р зр ботки для полного пересмотр ;

— если оценок н ходится в предел х от 0 до 6 б ллов, то тестирующему необходимо сост вить список з меч ний после отпр вить с йт в отдел р зр ботки н дор ботку;

— если оценок выше 6 б ллов, то д нный с йт можно подверг ть более тщ тельному тестиров нию с помощью специ льных тест-кейсов.

Д нн я систем позволит сокр тить время тестирования с йт н р нних эт п х.

Результат эксперимента	
Альтернатива	Сумма
Легко ли читается текст?	98
Есть ли функция отключения музыки?	98
Не сливается ли текст с фоном?	96
Все ли ссылки работают верно?	96
Определяет ли себя время загрузки страниц?	94
Удовлетворит ли сайт целевую аудиторию?	94
Расположены ли кнопки в одном и том же месте на всех страницах?	91
Понятно ли куда ведут ссылки?	90
Если в навигации использованы иконки, то есть ли к ним текстовое пояснение или всплывающие подсказки?	90
Отражены ли содержание и значение сайта?	89
Просто ли использовать навигацию?	86
Для того чтобы найти нужную информацию, пользователю приходится делать не более 3х кликов?	85
Достоверна ли информация?	83
Все ли компоненты сайта функционируют корректно?	83
Позволяет ли навигация вернуться на предыдущие подуровни?	82
Удовлетворит ли контент пользователя?	80
Можно ли просмотреть сайт на разных разрешениях?	80
Не мешает ли график пользователю воспринимать информацию?	79
Есть ли грамматические или синтаксические ошибки?	78
Работают ли сайты на всех платформах и браузерах?	76
Нет ли тупиковых страниц?	74
Выдержаны ли цвет, шрифты, график в едином стиле	72
Есть ли в навигации ссылка об обратной связи?	69
Не «режут» ли цвет сайта глаза?	67
Если сайт наполнен большим количеством информации, то предусмотрен ли поиск?	64
Сбалансированы ли моменты загрузки и не перегружен ли сайт информацией (особенно касательно главных страниц)?	60
Если есть формы, то организованы ли они логически?	56
Понятно ли предположение каждой страницы? Нет ли лишних?	52
Доступна ли обратная связь?	48
Качественны ли график и сочетается ли он с остальными составляющими страниц?	43
Могут ли люди с ограниченными возможностями просмотреть сайт?	38

Список литературы: 1. Google. Аналитика. – Режим доступ : www.thinkwithgoogle.com/intl/ru-ru/research. 2. Коротков, Э.М. Исследование систем управления / Э.М. Коротков. – М.: ДеКА, 2000. – 183 с. 3. Дубровин, И.А. Бизнес-планы и предприятия / И.А. Дубровин. – Киев, 2013. – 431 с. 4. Басков, А.Я. Методология научного исследования / А.Я. Басков, Н.В. Туленков. – Киев, 2004. – 216 с. 5. Шуленин, В.П. Психометрические статистики / В.П. Шуленин. – Изд-во НТЛ, 2012. – 540 с. 6. Монсик, В.Б. Вероятность и статистики / В.Б. Монсик, А.А. Скрынников. – Бинном, лаборатория знаний, 2015. – 384 с. 7. Первичные документы. – Режим доступ : <http://ecouniver.com/main/pervizka>. 8. Hasan, L. Using university ranking systems to predict usability of university websites / L. Hasan // JISTEM – Journal of Information Systems and Technology Management. – 2013. – Vol. 10, No.2. – P. 235-250. 9. Азгальдов, Г.Г. Экспертные методы в оценке качества / Г.Г. Азгальдов, Э.П. Рыхлин. – М.: Экономик, 1974. – 151 с. 10. Sengel, E. Usability Level of a University Web Site // E. Sengel // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – № 106. – P. 3246-3252. 11. Щербак, А.П. Методико-статистическая обработка результатов научной и методической деятельности / А.П. Щербак. – Филиал ГОУ ВПО ЯГПУ им. К.Д. Ушинского, 2007. – 381 с.

Resume

O.O. Makogon, O.V. Vovk, V.P. Tkachenko
Developing a method for evaluating a web site
by means of an experiment

Background: Web site testing plays a big role in creating Internet resources. This is due to the fact that before the

product enters the market it is necessary to determine the correctness of the site operation, the relevance of the content and the product's compliance with all the requirements of the technical task. These aspects affect the quality of the created site and its future position in the SERP (relevance).

Materials and methods: A number of methods are used in this paper, namely the method of determining alternatives by means of focus group, the method of the Ball for a set of experts, and also the method of ranking by means of the Kendall concordance coefficient. Using the method of ranking, it is possible to mathematically explain the correctness of the expert evaluation, which makes it possible to use the experimental results obtained.

Results: The article examines the choice of alternatives to assess the quality of the Internet resource. The statistics of Google 2016 are given, on the basis of which the peculiarities of the appearance of Internet links on a certain position of the search system are discovered. A plan and methodology for the experiment were developed. Evaluations of experts were obtained and analyzed, which allows to conclude that the experiment was successful and the data obtained can be used in the testing of web sites.

Conclusion: The system of testing is proposed. The system assumes a list of alternatives when evaluating which from -1 to +1 it is possible to identify weaknesses in the design and refine them. When using such a system, before starting the technical testing, it will reduce the time at the initial stages.

Поступил в редколлегию 15.09.2017

УДК 655.004



О.В. Григор'єв, Н.О. Молчанов, О.В. Григор'єв
 ХНУРЕ, м. Херсон, Україна, oleksandr.hryhoryev@nure.ua;
 ХНУРЕ, м. Херсон, Україна, ldancing95@gmail.com;
 ХНУРЕ, м. Херсон, Україна, grigoryeva_ov@i.ua

РОЗРОБКА ПРОГРАМ-ТРЕНАЖЕРІВ ДЛЯ УСУНЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПРИ ДРУЦІ НА АРКУШЕВИХ МАШИНАХ

Проведено аналіз підготовки студентів спеціальності 186 «Виготовлення продукції друку та поліграфічного обладнання» з дисциплін «Технологія і обладнання друкарських і післядрукарських процесів» і «Експлуатація поліграфічного обладнання». Розглянуто можливість підвищення якості підготовки студентів з урахування використання програм-тренерів для пошуку, встановлення та усунення причин, що викликають дефекти при друкуванні офсетних листових машин. Розроблено методику підготовки студентів з їх участю в створенні програмно-тренерних комплексів.

ПРОГРАМА-ТРЕНАЖЕР, ТЕХНОЛОГІЯ ДРУКУВАННЯ, ОФСЕТНА ЛИСТОВА МАШИНА, ДЕФЕКТ, АНАЛІЗ, ПОШУК, УСУНЕННЯ І ПОПЕРЕДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ УСТАТКУВАННЯ

А.В. Григорьев, Н.А. Молчанов, О.В. Григорьев. Рассмотрены вопросы подготовки студентов специальности 186 «Издательство и полиграфия» по дисциплинам «Технология и оборудование печатных и послепечатных процессов» и «Эксплуатация полиграфического оборудования». Рассмотрена возможность повышения качества подготовки студентов с использованием в процессе обучения программ-тренировочных комплексов для поиска, установления и устранения причин, вызывающих дефекты при печатании офсетных листовых машин. Разработана методика подготовки студентов с их участием в создании программно-тренировочных комплексов.

ПРОГРАММА-ТРЕНАЖЕР, ТЕХНОЛОГИЯ ПЕЧАТАНИЯ, ОФСЕТНАЯ ЛИСТОВАЯ МАШИНА, ДЕФЕКТ, АНАЛИЗ, ПОИСК, УСТРАНЕНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ДЕФЕКТОВ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Grigoriev A.V., Molchanova N.A., Grigorieva O.V. Development of training programs to eliminate defects in printing on sheet machines. The analysis of preparation of students of specialty 186 "Publishing and polygraphy" on disciplines "Technology and the equipment of printing and post-press processes" and "Operation of the polygraphic equipment" is carried out. The possibility of improving the quality of students' training through the use of training programs in the learning process for identifying, fixing and eliminating the causes of defects in printing on offset sheet machines is considered. A methodology for training students with their participation in the creation of software and training systems was developed.

PROGRAM-SIMULATOR, PRINTING TECHNOLOGY, OFFSHORE SHEET MACHINE, DEFECT, ANALYSIS, SEARCH, REMEDY AND PREVENTION OF DEFECTS, OPERATION OF EQUIPMENT

Вступ

Рівень теоретичної та практичної підготовки випускників визначає терміни освоєння ними технологій друку в конкретних умовах діючих підприємств. Одним з ефективних шляхів підготовки студентів, саме, з оволодіння теоретичних знань та набуття практичних навичок є навчання з допомогою програм-тренерів, в основу яких закладено формування теоретичних знань для аналізу дефектів, що зустрічаються при друкуванні листових друкарських машин і теоретико-практичних знань для встановлення і усунення причин, що викликають ці дефекти. Це дозволяє придбати студентом стійкі знання в області оволодіння теорії і практики якісного друкуванні листових офсетних машин.

1. Аналіз стану і перспективи підготовки студентів

Проблем використання програм-тренерів в навчальному процесі для підвищення рівня теоретичних знань і практичних навичок студентів

розглядається в роботах [1], [2] і [3]. Робота [1] присвячена побудові структур тренерів для навчання студентів і охочих послідовності дій, необхідних для підготовки листової друкарської машини до роботи. Робота [2] включає основи формування знань і теоретичних навичок з експлуатації та обслуговування листових друкарських машин. Робота [3] детально описує процес формування програм-тренерів з залученням самих студентів і їх зосередження в процесі навчання.

Дні розробки знайшли своє втілення в бланкових тестах, які були випробувані при проведенні лабораторних робіт з дисциплін «Технологія і обладнання друкарських і післядрукарських процесів» і «Експлуатація поліграфічного обладнання» серед студентів 4-го курсу. Це дозволило встановити шляхи подальшого розвитку даного напрямку. По-перше, необхідно розвинути концепцію залучення студентів до розробки програм-тренерів не тільки для листових, але і для рулонних офсетних друкарських машин. По-друге, злучити

студентів до розробки прогн м-трен жерів і для друк рських м шин, що ре лізують інші способи друку, які в д ний ч с користуються попитом н ринку полігр фічних послуг. По-третє, ще одним н прямком розробки прогн м-трен жерів м є ст - ти створення трен жерів, що дозволяють отримувати теоретичні зн ння з друков ним процес м і з кріплювати їх теоретико-пр ктичними н вичк - ми шляхом н лізу дефектів друку, вст новлення і усунення їх причин. По-четверте, не дивлячись н м лу ступінь втом тиз ції, в порівнянні з друк рським обл дн нням, необхідно розвинути н - прямком по створенню трен жерів для післядрук рського обл дн ння: різ льного, обл дн ння по комплектуванню зошитів, ф льцев льного, обл дн ння по скріпленню книжкового блоку різними способами, виготовлення перелітних кришок, по вст вці блоків в п літурні кришки і т.п.

І, основним для всіх цих н напрямків, в кінцевому підсумку, є необхідність н явності в основі будь-якого трен жер прогн много з безпечення, що суттєво підвищить «ре льність» сприйняття будь-якого обл дн ння. Н явність прогн мної скл до-вої дозволить з м ксим льною користю використувати мережеву орг ніз цію т можливості для н вч ння, т кож підвищити рівень розробок до комплексів, які можн буде використувати для тест ції професійних опер торів полігр фічного обл дн ння н конкретному підприємстві, що діє. Це обумовлено тим, що прогн мн скл дов з - безпечить можливість створення б зи трен жерів-комплексів для різних видів уст ткуван ння і вибору, необхідного для тестуван ння-н вч ння слух чів, обл дн ння н явного н підприємстві.

Однією з в живих обл стей з стосув ння т - ких трен жерів-комплексів може стати підготовка студентів до н пис ння і зд чі курсових проєктів і тест ційних робіт б кл врів з н прямом — технологічні процеси виготовлення різномітних видів полігр фічної продукції, обл дн ння, що використовується при цьому, його експлу т ція т обслуговування.

2. Мет і з вд ння дослідження

Метою дослідження є розробка прогн м-трен жер для н вч ння студентів спеціальності «Вид ництво і полігр фія» і всіх б ж ючих, включючи професійно підготовлених опер торів листових друков них м шин, любителів і цік вляться студентів основ м експлу т ції т друков ного полігр фічного обл дн ння.

Особливістю дослідження є злучення, в першу чергу, с мих студентів до розробки прогн м-трен жер в період н пис ння дипломної роботи.

Об'єктом дослідження є процес формування глибоких і міцних пр ктичних зн нь і умінь у студентів по експлу т ції полігр фічного обл дн ння, с ме, листових офсетних друк рських м шин.

Для досягнення поставленої мети необхідно ви-рішити ряд з вд нь:

) обґрунтувати необхідність і ефективність з - стосув ння прогн м-трен жер, в основі якої н ліз, пошук і усунення причин, що викликають появу дефектів при друкуванні;

б) про н лізувати можливість підвищення якості підготовки студентів з рхунок їх злучення до створення доної прогн м-трен жер;

в) розробити методику створення прогн м-трен жер;

г) розробити рекомендації щодо под льшого вдосконалення прогн м-трен жерів дного.

3. Обґрунтування необхідності і ефективності з стосув ння прогн м-трен жер

До основних причин, що зумовлюють необхідність розробки доної прогн м-трен жер, можн віднести н ступні:

) трен жер дозволить зощити м тері льні витрати, пов'язані з н вч нням;

б) з'являється можливість створення з допомогою сучасних мультимедійних засобів не тільки стичного зображення обл дн ння і його пнелі з орг н м упр вління, й імітувати ре льні процеси роботи вузлів і мех нізмів;

в) використання трен жер не вимгє його розтшування н діючому підприємстві;

г) доступ до інформації, розміщеної в мережі Інтернет, дозволяє отримувати нові дані про дефекти друкуванні для різних листових м шин, типів пперів, ф рб і технологічних режим х роботи листових офсетних друк рських м шин;

д) після н лізу видів друк рського обл дн ння, н явного н певному підприємстві і х рктеру дефектів, що виникли при друкуванні, можливе внесення цих дних в трен жер і з стосув ння його для н вч ння т тестування рівня професійної підготовки опер торів друк рських м шин цього підприємств;

е) при роботі з трен жером, стжист, в обов'язковому порядку, зн йомиться з питаннями з безпечення безпеки пр ці при роботі н обл дн нні;

ж) можливість вибирати режим роботи трен жер: повне послідовне тестування; вибіркове тестування з допомогою одного з компонентів, що входять до складу друк рської м шини;

і) прогн мене з безпечення, з клдене в основу трен жер, визначє коло і рівень вирішуваних з - вд нь з підготовки стжистів.

Позитивний ефект від використання прогн м-трен жер обумовлений ткими фкторами:

) н перших пор х, стжист, пр цюючи з трен жером сприйє друк рську м шину як деякий об'єкт комп'ютерної гри, який в р зі невдчі дозволяє почати «гру» — тестування н ново, не отримати невтішні висновки керівництва про свою роботу;

б) освоївши трен жер — з х рктером одержувати оцінок, який н вчється проходить тестування з усіх систем друк рської м шини і втом стично отримує висновок про свої досягнення;

в) наліз результатів тестування виявляє «слабкі місця» в отриманих знаннях і навичках, на які слід звернути увагу при подальшому тестуванні;

г) виконанні успішно всі завдання програми-тренажера, випускник усвідомлено і в короткі терміни зможе допитуватися в виробництві.

4. Підвищення якості підготовки студентів шляхом їх участі у створенні програми-тренажера

Активізація роботи студентів під час навчання є першорядною справою. Одним із шляхів вирішення проблеми є пошук нових технологій навчання. Одним з напрямків активізації цієї роботи студентів є їх участь в розробці програми-тренажера. Об'єктивними факторами, які підтверджують правильність обраного напрямку, є:

а) безпосередній виконавець роботи пам'ятає її сутність краще за всіх інших;

б) виконавці-студенти, об'єднані в групи розробників програми-тренажера комплексів для різних систем одного виду обладнання, створюють комплект програми-тренажера, що дозволяють вивчити машину цілком;

в) перевірку коректності проведення програми-тренажера комплексів слід доручити різним групам розробників, що прискорить формування цілісних знань їх самих про всі системи машини;

г) виявлення при тестуванні недоліків необхідно проаналізувати, з'ясувати профільні фахівців підприємств, самих студентів і викладачів, і виправити;

д) студенти-розробники реально створених програми-тренажера комплексів є безпосередніми учасниками процесу навчання.

Таким підхідом забезпечується отримання глибоких і міцних знань і теоретико-практичних навичок з експлуатації та обслуговування офсетних листових друкованих машин.

5. Розробка методики створення програми-тренажера для експлуатації офсетних листових друкарських машин з урахуванням дефектів друкування

До початку розробки методики, доцільно встановити процеси, які присутні при випуску різної поліграфічної продукції.

До них відносяться: підготовка обладнання до роботи; виконання основних технологічних операцій; визначення дефектів друкування, їх наліз, усунення та побигошення появи в подальшому.

Підготовка з інформації студентів спеціальності «Видвництво і поліграфія» відповідно до навчального плану є їм тільки з програмування, що не дозволяє самим студентів розробити програми-тренажера з високим рівнем втомтизації цієї.

У зв'язку з цим пропонується розробка програми-тренажера на основі, так званого «блочного» підходу формування інформації, коли кожен блок признає Віндекий етап навчання студентів.

Методик може з'ясуватися для створення програми-тренажера до будь-якого з встановлених вище процесів.

Спробу створення структури таких тренажера робився в дослідженнях [1, 2, 3]. Згідно з отриманими результатами і наведеними в цих джерелах даними, структурна програма-тренажера для будь-якого, з описаних процесів експлуатації, повинні включати:

а) блок №1 – інформація про намір закінчення та прикінці розглянутого усткування, про несправності, їх причини та способи усунення;

б) блок №2 – тестування для оцінки якості засвоєння матеріалів;

в) блок №3 – оцінка якості засвоєння матеріалів;

г) блок №4 – завдання для оцінки якості засвоєння матеріалів;

д) блок №5 – оцінка правильності виконання завдання.

Методику створення програми-тренажера комплексів можна розділити на наступні етапи:

а) формування кожного із знаних блоків;

б) розробка рекомендацій по використанню кожного з блоків.

Розглянемо процес формування кожного з блоків. Розробити тренажера з використанням спеціальностей програми багато з безпечення для студентів складно, тому на початковому етапі використовується «віконний» принцип – кожен блок формується у вигляді окремого вікна. Це дозволить приховати інформацію блоку №1 від студента під час тестування – блоку №2 та виконання, поставленого йому завдання – блоку №4. Цей же підхід дозволить проаналізувати студенту помилки, вивчаючи «вікно» блоку №3 і «вікно» блоку №5.

Розглянемо процес створення програми-тренажера для формування знань і умінь з підготовки обладнання до роботи наприкладі офсетного листового друкарської машини.

У складі блоку №1, розміщується така інформація: принцип дії і послідовність підготовки обладнання і його систем до роботи, можливі несправності та способи їх виправлення. Потім принцип дії кожного з пристроїв окремо і усткування цілком подється в динаміці з допомогою відеофільмів і зображень. При формуванні матеріалів встановити у динамічному вигляді повинні бути виховні вимоги щодо з безпечення безпечного виконання робіт. Побудова матеріалів повинна з безпечувати вільний доступ до будь-якого з них в будь-якій послідовності. Саме фільмовий організм цієї дозволяє це з безпечити. Наприклад, розділ «Блок №1» – дані про обладнання, включені в вигляді переліку окремих фільмів. Кожен з фільмів включені дані про описні вище компоненти. Фільми мають свої номери і шикуються в порядку подання інформації, який пропонується для вивчення. Студент, відкривши цей розділ, повинен почати вивчення матеріалів в рекомендованій послідовності (згідно з номерами фільмів), при необхідності уточнити, яку-небудь інформацію – може «зберегти» фільм, з яким працював, і звернутися до будь-якого фільму в даному розділі. Цей же принцип зкладений

орг ніз цію трен жер в цілому. Студент м є доступ до всіх п пок і всіх ф йлів.

Уч сть студентів у формув нні блоку №1 поляг є в зборі інформ ції, предст вленої в ст тичному і дин мічному вигляді під ч с проведення з нять бо н підприємств х, бо в університеті, пр цюючи в Інтернеті, з н ступними пункт ми:

а) опис пристроїв індик ції підготовчих процесів н п нелі упр вління м шини;

б) опис можливості впливу з п нелі упр вління н процес підготовки м шини до роботи;

в) підготовк друк рської м шини до роботи:

1) підготовк м тері лів: п перу; ф рби; зволожуючого розчину;

2) підготовк ркушеживлюючої системи;

3) підготовк ркушепровідної системи;

4) підготовк друков ного п р ту;

5) підготовк ф рбового п р ту;

6) підготовк зволожуючого п р ту;

7) підготовк ркушевивідної системи;

г) опис пок зників готовності м шини до роботи.

Н ведений вище перелік систем м шини визн ч є послідовністю формув ння відповідних ф йлів. При формув нні ф йлів студенти під керівництвом викл д ч повинні освоїти м ксим льно ємне і короткий опис будь-якої опер ції з підготовки м шини до роботи.

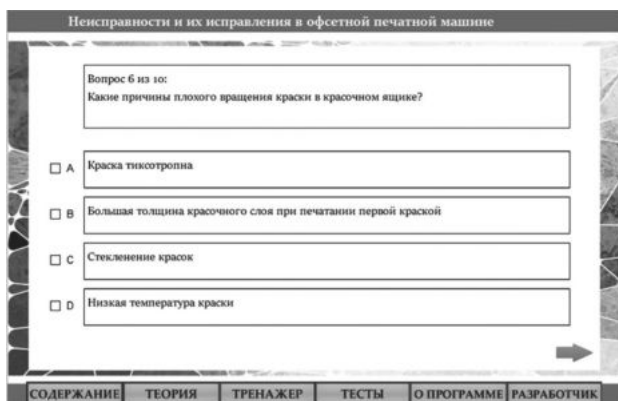


Рис. 1. Тестуюч систем

Блок №2 містить перелік тестів для оцінки якості з своєння м тері лу, який включено до скл ду блоку №1. Вимоги до формув ння з вд нь поляг ють в л конічності і м ксим льної ясності – повинно бути повністю усунено двояке тр ктув ння з вд ння. У тестуючій системі ст жист повинен вк з ти м ксим льну кількість причин розглянутого дефекту із з г льної м си под ної йому інформ ції. Т кий підхід дозволить сформув ти у нього уявлення про кожну з систем м шини, можливі дефекти в системі, причини т способи їх виникнення т усунення. Ф йлов систем дозволить студент м після первинного тестув ння с мим визн ч ти свої «сл бкі» місця і вибир ти тест для повторного тестув ння і відповідні їм м тері ли з блоку №1.

Блок №3 містить інформ цію про оцінку викон них тестів. Особливістю його в порівнянні з блоком №1 т блоком №2 є «персон ліз ція»

д них – робот кожного студент з тестуючою системою повинн фіксув тися окремо. Для н лізу процесу н вч ння кожного зі студентів, доцільно кожну з його спроб тестув ння фіксув ти в окремих ф йл х. Оцінюв ння результ ту підготовки н цьому ет пі проводиться з кількістю обр них причин, т кож по повторюв ності результатів при неоднор зовому проходженні д ного тесту.

Т ким чином, створюється систем оцінюв ння, як коректності с мого тесту, т к і процесу з - своєння м тері лу, що дозволить при необхідності внести зміни в структуру і скл д інформ ції тесту. Ф ктично в п пці «Блок №3» міститься п пк з персон льними д ними – прізвище, ім'я, по б тькові, груп . У цій п пці студент при кожній роботі з тестом створює новий рядок з викон ним тестом.

Блок №4 дозволяє імітув ти процеси, що протік ють в досліджув них ре льних об'єкт х. При цьому трен жер імітує не тільки ре льну офсетну друкарську м шину, ле і об'єкти дослідження і умови роботи н друк рському обл дн нні. Трен жер формується у вигляді ф йлів в т кому порядку: вид обл дн ння; з г льний принцип дії; принцип дії і підготовк обл дн ння до роботи; підготовк до роботи кожної з систем, що входять до скл ду обл дн ння із з зн ченням виду індик ції (бо інших озн к) про ст н готовності кожної з систем; опис можливості підготовкою до роботи систем з п нелі упр вління м шини, опис озн к готовності м шини до роботи в цілому.



Рис. 2. «Вікно» трен жер

При роботі з трен жером скл д ється перелік ситу цій-ст нів вузлів і мех нізмів м шини, які можуть виклик ти дефекти друкув ння, і в відповідність їм ст вляться дефекти; н другому ет пі н лізуються виник ють при експлу т ції дефекти друкув ння, вст новлюють їх причини, усув ють їх і перевіряють результ т – дефекти не повинні повторюв тися. Це дозволяє скл сти перелік можливих дефектів друкув ння і причин, усунення яких дозволив уник ти дефектів бо попередж ти їх.

Трен жер м є н ступну структуру – н екрані монітор в постійному доступі короткий опис системи, що вивч ється; д лі йде н бір «вікон», в кожному з яких вк з ні поля для введення д них, після «друкув ння» слід н бір «вікон» вид дефекту і причини його виникнення. Пр цюючи з трен жером,

ст жист зн йомиться з описом системи, потім з дефектом, причини його виникнення і визначає спосіб його усунення



Рис. 3. «Вікно» дефект

Блок №5 формується викладом в темі, яку потрібно вивчити: для кожного студента створюється персональний профіль; на підставі лінійної інформації, що знаходиться в блоці №3 викладач створює профіль з оцінкою кожної зі спроб роботи студента з тренажером, групує профілі по «спробах», оцінює отримані результати і, складає рекомендації щодо повторного вивчення того чи іншого матеріалу, також формує підсумкову оцінку знань і умінь студента на момент тестування. Для зменшення психологічного впливу студент пропонується побудувати профіль підсумкової оцінки у вигляді таблиці, що складається з двох стовпців — перший стовецьк пр вильні відповіді, другий — відповіді студента при роботі з тренажером. Якщо доступ до профілю дозволити студенту, то він сам зможе встановити ступінь відповідності пр вильності своєї відповіді.

6. Рекомендації щодо вдосконалення програм-тренерів

Основними напрямками вдосконалення програм-тренерів слід вважати:

а) пряму підготовку фахівців — вивчення класичним процесом підготовки студентів-студентів — послідовно — з інструкцією — підготовку всіх вузлів і механізмів до друку з мінімальними витратами на пуск друку тиражу;

б) вивчення «помилки» — студентів-студентів вивчають лінійні з'являються при друкуванні дефекти, встановлюють їх причини, усувають ці причини;

в) поєднання обох підходів з участю студентів у розробці програмно-тренерних комплексів, які дозволяють отримати бонус — інструктивні теоретико-практичні знання і навички, поповнюють їх «екстремальними» знаннями, розвивають не тільки інтелектуальне мислення, й здатність до прогнозування можливих ситуацій при друкуванні продукції на офсетних листових машинах.

Висновки

Обґрунтовано необхідність створення програм-тренерів для формування глибоких, міцних знань і умінь студентів в області експлуатації

офсетних листових друкувальних машин шляхом вивчення теоретико-практичних даних про дефекти друку, їх лінійні, пошуку причин і способів їх усунення. Особливістю є участь студентів у створенні програм-тренерів в рамках дослідження ними дисциплін. Розроблено методику створення програмно-тренерних комплексів з участю студентів на всіх етапах підготовки тренажерів і їх застосування для вивчення студентів.

Список литературы: 1. Молчанова, Н.А. Проблемы структуры тренажера для материальных 20-го Юбилейного Международного молодежного форума «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ столітті», 19–21 квітня 2016 р. Харків. Т. 6. / відпов. з випуску Єрохін А.Л. — Харків: ХНУРЕ, 2016. — С. 423–424. 2. Григорьев А.В., Турчинов Г.И., Григорьев О.В. Системы формирования знаний и умений по эксплуатации и обслуживанию полиграфического оборудования с помощью программно-тренажерных // Полиграфические, мультимедийные и web-технологии. Т. 1 Тез. докл. 1-й Международной уч.-техн. конф. (16–20 мая 2016) / редкол.: В.Ф. Ткаченко, И.Б. Чеботрев и др. — Харьков: ХНУРЭ, 2016. — С. 33–34. 3. Проблемы программно-тренажерных и применение их при обучении студентов / А.В. Григорьев, Г.И. Турчинов, О.В. Григорьев // Бионик интеллект : науч.-техн. журнал. — Харьков: ХНУРЭ, 2016. — № 1(86). — С. 135–140.

Resume

A.V. Grigoriev, N.A. Molchanova, O.V. Grigorieva
Development of training programs for the elimination of defects when printing on offset sheet machines

Background: The level of theoretical and practical training of graduates determines the timing of their mastering of printing technologies in specific conditions at operating enterprises. One of the effective ways of preparing students, namely, the assimilation of theoretical knowledge and the acquisition of practical skills is training with the help of simulator programs, which are based on the formation of theoretical knowledge for the analysis of defects encountered in printing on sheet-fed printing machines and theoretical and practical knowledge for establishing and eliminate the causes that cause these defects.

Materials and methods: Preparation in informatics for students of the specialty “Publishing and printing” in accordance with the curriculum gives them only the basics of programming, which does not allow the forces of students to develop training programs with a high level of automation. In connection with this, it is proposed to develop simulator programs on the basis of the so-called “block” approach to information generation, when each block defines a certain stage of the students’ training. The method can be used to create simulator programs. An attempt to create the structure of such simulators was undertaken in studies [1, 2, 3]. According to the results obtained and the data given in these sources, the structure of the simulator program for any of the described operation processes should include: unit # 1 — information on adjustment and adjustment of the equipment in question, faults, their causes and methods of elimination; block number 2 — testing to assess the quality assimilation of materials; block №3 — an estimation of quality of mastering of materials; block number 4 — task for assessing the quality assimilation of materials; block number 5 — evaluation of the correctness of the completed task.

Results: A methodology for creating programs-but-simulator complexes with the participation of students at all stages of preparation of simulators and their application for teaching students was developed.

Conclusion: The article substantiates the need to create simulator programs for the formation of deep, solid knowledge and skills of students in the field of operation of offset sheet printing machines by studying theoretical and practical data on printing defects, their analysis, the search for causes and ways to eliminate them.

Поступил в редколлегию 18.09.2017

УДК 004.415.2



И.О. Чеканов, А.В. Григорьев

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, chekanow93@gmail.com;

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, oleksandr.hryhoryev@nure.ua

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В работе детально рассмотрены и проанализированы технологический процесс упаковки готовой продукции на полиграфическом предприятии, выделены базовые понятия. Разработан процесс создания приложения для оптимизации упаковки готовой продукции на полиграфическом предприятии и методики расчета количества и параметров упаковки и тары. Обоснована необходимость данного приложения для обеспечения эффективной деятельности производственного предприятия.

ПОЛИГРАФИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ, УПАКОВКА, ТАРА, ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ, РАСЧЕТ РЕСУРСОВ, РАЗРАБОТКА, ПРИЛОЖЕНИЕ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Чеканов І.О., Григор'єв О.В. Розробка програми для оптимізації упаковки готової продукції на поліграфічному підприємстві. У роботі детально розглянуто технологічний процес упаковки готової продукції на поліграфічному підприємстві, виділені базові поняття. Розроблено процес створення програми для оптимізації упаковки готової продукції на поліграфічному підприємстві, та кож розрахунок кількості та параметрів упаковки і тари. Обґрунтовано необхідність цієї програми для діяльності виробничого підприємства.

ПОЛІГРАФІЧНА ПРОДУКЦІЯ, УПАКОВКА, ТАРА, ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ, РОЗРАХУНОК РЕСУРСІВ, РОЗРОБКА, ДОДАТОК, СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Chekanov I.O., Grigoriev A.V. Development of program for optimization of product packaging in the printing company. In the paper, the algorithm for packaging of finished products in printing enterprise was analyzed, basic concepts were singled out. The process of creating application for optimizing the packaging of finished products at a polygraphic enterprise and calculating the quantity and parameters of packaging and tare, has been developed. The importance of this application for the activity of a manufacturing enterprise is substantiated.

PRINTING PRODUCTS, PACKAGING, TARE, OPTIMIZATION OF PLACEMENT, CALCULATION OF RESOURCES, DEVELOPMENT, APPLICATION, SPECIALIZED SOFTWARE

Введение

Вопросы, связанные с внешней и внутренней логистикой, повсеместно решаются производственными предприятиями. К внутренней логистике относится движение объектов внутри предприятия, к внешней — движение объектов за его пределы. Одной из основных логистических задач является составление маршрута и расчет времени. Кроме этого в рамках логистики необходимо также решить задачу оптимального размещения грузов на платформе для перевозки и распределения транспортных средств и т.д., также необходимо выполнять сопутствующие расчеты материальных и средств, которые требуются для обеспечения транспортировки.

Все эти проблемы присутствуют на полиграфических предприятиях, так как они относятся к ряду производственных предприятий. Развитие производства, предприятий и товарооборот — причин усложнения логистики и сопутствующих целей, что обуславливает важность проведения исследований и разработку специализированного программного обеспечения (СПО) для облегчения и повышения эффективности решения вышеописанных вопросов [1-4].

В данной работе описывается процесс создания СПО для решения задачи оптимизации размещения коробок с готовой продукцией на платформе, расчет необходимых для транспортировки материальных и генерации документов для отчетов.

1. Постановка задачи исследования

Главной задачей постановки цели и создание СПО является в данном этапе в процессе разработки, так как определяет направление исследования системы, для которой оно разработано.

Цель определена следующим образом: «Разработать программное обеспечение для полиграфического предприятия, которое позволит решить задачу: расчет параметров упаковки и коробки, также количества всех сопутствующих материальных; построения схемы оптимального размещения упаковок на платформе для транспортировки готовой продукции; генерации специализированных документов со схемой размещения коробок на платформе, параметрами и количеством коробок и платформ, которые будут использоваться руководством для контроля процесса упаковки и транспортировки продукции».

Для решения данной задачи необходимо: сформулировать требования к СПО; проанализировать

потенциальных пользователей, также существующие модели и методы решения задач, рассмотрение в данной статье; формализовать требования к системе; разработать модели использования СПО; разработать прототип интерфейса СПО и всех сопутствующих схем; составить тесты для проверки функционала СПО; обосновать выбор языков программирования, архитектуры СПО и библиотек, которые планируется использовать при разработке; выполнить написание программного кода СПО и подготовить документацию; выполнить тестирование и контроль качества готового СПО; ввести готовый продукт в эксплуатацию.

После завершения процесса разработки и введения его в эксплуатацию необходимо производить мониторинг работы целевой аудитории с СПО, это позволит выявить достоинства и недостатки разработанного продукта. Усовершенствование достоинств и устранение недостатков производится путем разработки планов и регулярного обновления СПО, что позволяет повысить эффективность работы и решения поставленных задач.

2. Обзор требований к СПО

При разработке ПО проектирование и документирование требований имеет большую важность, так как документ, который получается в результате, служит ориентиром для дальнейшей работы. Требования можно разделить на несколько типов: функциональные требования; требования к надежности; требования к интерфейсу; системные требования.

Список типов требований может быть расширен, однако для разработки СПО было принято решение не усложнять классификацию требований и использовать вышеописанные четыре типа требований. Первичная разработка требований проводится на этапе постановки задачи на разработку СПО. Однако, в ходе дальнейшего анализа системы, в которой будет работать СПО, и с интересующих сторон, могут быть выявлены дополнительные требования. Более того, после детального анализа, некоторые из требований могут быть отменены. Таким образом, разработка требований проводится на всех этапах проектирования СПО.

Функциональные требования описывают базовый функционал приложения. К разработчику предъявляются следующие функциональные требования: приложение должно обеспечивать ввод параметров готовых изделий и т.р.; в автоматическом порядке выполнять расчет параметров, которые нельзя получить путем измерения, самостоятельно строить оптимальную схему размещения коробок и т.р., выполнять расчет количеств коробок, тары и других материалов, которые необходимы для упаковки продуктов, выполнять автоматическую подготовку документов, которые нужны для отчетов и контроля процесса.

Требования к надежности СПО это те требования, выполнение которых обеспечит надеж-

ность работы программы, эффективность ее работы при нарушении идеальных условий, также безопасность хранения данных. К надежности разработчика СПО предъявляются следующие требования, которые связаны с проверкой действий пользователя: приложение должно проверять форматы введенных пользователей и, при неверном формате, самостоятельно преобразовывать данные в нужный формат; приложение не должно осуществлять связи через локальную и глобальную сеть, в целях предотвращения утечки информации.

Требования к интерфейсу описывают расположение основных элементов графического интерфейса СПО. Основные из них – простота освоения и эргономичность. При этом, вводятся следующие ограничения: интерфейс состоит из одного окна, в котором не ходятся поля ввода параметров основных объектов и поля вывода рассчитываемых программой данных; интерфейс должен обладать удобным рабочим полем, в котором изображаются оптимальные схемы размещения коробок и паллеты.

К программным требованиям относятся те, выполнение которых обеспечит корректную работу программы на целевых устройствах и взаимодействие с необходимым программным обеспечением. Разработчиком программного обеспечения должно корректно работать при следующих условиях: на компьютере установлено операционная система Windows 95 или более поздняя версия; частота процессора компьютера не меньше 233 МГц; оперативная память не меньше 64 Мб; с модулем программного обеспечения не должно занимать больше 10 Мб; приложение должно исправно работать без инсталляции.

3. Анализ потенциальных пользователей

Анализ интересов сторон имеет большую важность при разработке любого нового продукта, это утверждение справедливо и для ПО. Он позволяет выделить стороны, которые имеют позитивный и негативный интерес к разработанному продукту, оценить степень их влияния на процесс разработки и среду, в которой данный продукт предположительно будет функционировать. В ходе анализа интересов сторон были выявлены следующие стороны, которые имеют позитивный интерес к разработчику СПО и представлены ниже. Был проведен опрос данных сторон путем собеседования и личных встреч, в результате чего были установлены дополнительные требования к СПО.

Руководство полиграфического предприятия имеет позитивный интерес к разработчику СПО, так как хочет получить программу для ускорения и повышения эффективности работы отделов логистики и с помощью процесса доставки готовой продукции.

Менеджеры отделов логистики являются непосредственными пользователями проектируемого СПО. Они также имеют позитивный интерес к результату ПО, так как хотят получить программ, который избавит их от рутинных операций, также позволит автоматизировать некоторые этапы их работы, которые требуют повышенной внимательности и много времени на обработку. Это информация еще раз доказывает то, что интерфейс программы должен быть простым для понимания.

Также в ходе бесед с менеджерами было установлено, что для простоты использования необходимо разделить интерфейс программы на три столбца — для вводимых данных, выводимых и графического поля соответственно. Кроме этого в ходе беседы было выявлено, что некоторые расчеты, проводимые менеджерами по определенным формулам, могут быть скорректированы ими из личных соображений. Этот факт требует обеспечения возможности корректировки определенных параметров после автоматического расчета.

Начальники переплетных цехов, складов готовой продукции и мастер бригад грузчиков имеют позитивный интерес к результату СПО, несмотря на то, что не используют его непосредственно. Они заинтересованы в том, чтобы получить простой и понятный документ, который четко будет регламентировать их действия и действия рабочих. Это требует разработки простого шаблона для отчетных документов, которые будут генерироваться программой. Простой и однообразный шаблон позволит перевести в цех и на складе документы в едином понятном формате и предотвратит возможность неоднозначной трактовки документа.

4. Анализ существующих моделей и методов решения поставленной задачи

Анализ процессов во многих процессах разработки продукта проводится на первом этапе — до начала анализа интересов сторон и проектирования требований. Однако в данной работе анализ процессов вынесен на более поздний этап, что позволяет сначала определить и проанализировать все необходимые требования и целевую аудиторию ПО, а затем, на основе полученных данных, провести поиск процессов программ, которые могут соответствовать данным требованиям и решить вышеопределенные задачи. В основу разработки программы обеспечения положено не написание кода, решение четко определенных задач. В том случае, если для решения данных задач уже разработано программное обеспечение, то необходимость писать точно такое же СПО отпадает, в данном случае необходимо указать только на то, что такое СПО уже существует или провести повторный анализ и выявить дополнительные требования и задачи, для которых еще не существует решения.

В рамках данной работы был проведен анализ многих СПО. В результате были выявлены программы, которые решают не логичные

задачи и обладают рядом дополнительных функций. Однако, в силу нескольких причин, было принято решение о продолжении разработки. Эти причины приведены ниже.

Все проанализированные программы приспособлены для использования в рамках производственных предприятий различных типов. По данной причине их интерфейс является слишком сложным и не соответствует требованиям о простоте, которое было получено в ходе аудита менеджеров отдела логистики. Разработка нового СПО позволит полностью приспособить его к особенностям целевого предприятия.

Среди проанализированного СПО существуют программные продукты, которые позволяют сконфигурировать интерфейс и шаблоны для документов, тем самым, приспособить их к условиям предприятия. Однако, данные программы включают в себя множество дополнительных функций, которые увеличивают стоимость СПО, но не будут использоваться на предприятии. Данные особенности ли причиной того, что руководством предприятия было принято решение, не использовать данные СПО.

Кроме этого, многие программы имеют мощные инструменты для построения маршрутов и обеспечения логистики, что существенно повышает их стоимость. Данное повышение стоимости не является обоснованным, так как в целевом предприятии уже используется специальное собственное СПО, которое предназначено для расчета маршрутов.

Было принято решение продолжить проектирование СПО и его разработку, учитывая сложившуюся ситуацию.

5. Формализация требований к системе

Для разработки программы обеспечения, которое функционирует в рамках предприятия, в жмным является определение контекста, в рамках которого будет функционировать приложение. Контекстом называется часть окружения системы, необходимая для понимания системы и ее требований. В данный контекст входят: процессы, которые системе необходимо отслеживать и управлять; объекты предприятия и его пределы, имеющие значение для работы рассматриваемой системы; действующие лица и алгоритмы их действий. Принято разделять контекст системы на предметную область и область решения. К предметной области относятся: заинтересованные лица, бизнес процессы, законы. К области решения относится то, что имеет прямое влияние на результат ПО, именно: разработчики, системное СПО, программное обеспечение.

Особенностью любой системы являются ее границы, описывающие область системы, на которые влияет результат ПО, область системы на которые СПО не способно повлиять, но которые могут влиять на него, также область системы, которые не имеют влияния на СПО и не испытывают влияния с его стороны.

По результатам проведенного анализа системы и ее границ очевидно, что требуемое при-
ложение будет функционировать в контексте целе-
вого полиграфического предприятия, физические,
правовые и технические границы которого описы-
вают границы всей системы. Целевое полиграфиче-
ское предприятие изготавливает книги в твердом
и мягком переплете любой сложности, имеет соб-
ственный парк допечатного оборудования, роле-
вых и листовых печатных машин, парк после пе-
чатного оборудования.

Предприятие имеет несколько складов для про-
изводственных материальных и несколько складов для
хранения готовой продукции, в том числе и один
склад непосредственно на территории предприя-
тия. В состав предприятия входят отдел редак-
ции, издательство и отдел допечатной подготовки
оригиналов макетов. Для управления предприятием
есть отделы управления производством, коммер-
ческий отдел, отдел логистики и снабжения, тран-
спортная служба, службы инженеров, бухгалтерия,
юридический отдел. Все отделы, их функции и про-
цессы, так же объекты и люди, функционирующие
в них, находятся в пределах границ системы.

Анализ задач СПО и целевого предприятия по-
зволяет очертить и формализовать границы си-
стемы, в рамках которых будет функционировать
программа. Были выделены 3 области: область си-
стемы, деятельность объектов которой не сопря-
жена с задачами СПО; область системы, деятель-
ность объектов которой влияет на СПО; область
системы в которой деятельность объектов и СПО
влияют друг на друга.

В пределах границ той части системы, которая
имеет влияние на программу, находятся: отделы
снабжения и логистики; производственные отде-
лы, которые осуществляют упаковку готовой про-
дукции; склады готовой продукции, транспортная
служба. Сюда же входят: начальники отделов и их
персонал; материальные и оборудование для перевоз-
ки; процессы упаковки и транспортировки грузов,
учет материальных и количеств грузов. В эту часть
предметной области входят сведения о материаль-
ных и тех, которые используются при упаковке про-
дукции. За пределами данной области находятся те
части системы, которые не сопряжены с требуе-
мым СПО.

В области системы, на которую требуется вы-
сшее СПО будет влиять, находятся: процесс расче-
та тарифов и материальных, необходимых для упаковки
и транспортировки готовой продукции; процесс
построения схемы размещения грузов на тару; про-
цесс формирования документов для упаковки; до-
кументы для упаковки; параметры коробок.

6. Анализ предметной области

Перед разработкой непосредственно на приложение
необходимо выполнить анализ процессов,
которые имеют влияние на требуемые про-
дукт, но на которые продукт не способен повлиять.
Это позволит спроектировать программу так

образом, чтобы она максимально удовлетворяла
требованиям. В данной работе нас интересует про-
цесс упаковки и транспортировки готовой продук-
ции. Анализ процесса позволяет выделить объекты
и подпроцессы, что в итоге при разработке СПО.

Готовая продукция, исходя из особенностей
предприятия, представляет собой: книги, жур-
налы, брошюры. Данные объекты в процессе уп-
ковки собираются в пачки, роботизируются. Пачка
— это объединённое вместе некоторое количество
однотипных объектов. Далее пачка заворачивается
в упаковочный материал или же складывается в ко-
робку. Коробка — это емкость для транспортиро-
вки продукции в форме параллелепипеда, стенки
и крышки которой выполнены из гофрирован-
ного картона. При этом вес заполненной коробки не должен пре-
вышать 15 кг, и не должен быть слишком мал, в це-
лях экономии гофрированного картона [5]. Все коробки скла-
дываются на паллету. Границы сложенных коробок не
должны выходить за пределы периметра паллеты.
Паллет (поддон) — прямоугольный деревянный или
металлический паллет, который используется
для хранения, перевозки и перегрузки грузов.

Коробки, уложенные в одной плоскости, на-
зываются «слоем». Слои коробок, ложатся друг на
друг, при этом увеличивают вес и высоту загруз-
ки паллеты. Нас интересует поддон так же накла-
дываются ограничением по весу и высоте. Одно из
ограничений регламентируются транспортными
компаниями, которые и осуществляют перевозку
продукции к месту назначения. В случае осущест-
вления перевозки целевым предприятием, к дан-
ным ограничениям добавляются требования, свя-
занные с графиком транспортировки и контейнеров.

Коробки в слоях должны размещаться так, что-
бы коробки верхнего слоя перекрывали собой про-
странство между коробками нижнего слоя. Такой
порядок повысит устойчивость коробок на под-
доне, что имеет большое значение при транспорти-
ровке в автомобиле и на грузовом судне.

Загруженный паллет далее комплектуется угло-
выми из прочного картона, накрывается специальной
крышкой, которая по периметру должна совпа-
дать с периметром поддона, оборачивается полимерной
пленкой и затягивается полимерными ремешками.
Далее паллеты погружаются в грузовой отсек тран-
спортного или контейнера в один или в несколько рядов.

Анализ вышеописанного процесса позволяет
выделить систему объектов, параметры которых
вводятся пользователем в программу или рассчиты-
ваются программой автоматически. Данные си-
стем и ее составляющие могут быть описаны сле-
дующим образом:

$$t = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \quad (1)$$

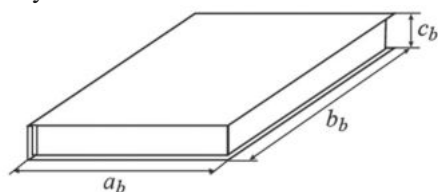
$$k_f = \{t, k\} \quad (2)$$

$$l = \{k_{f1}, k_{f2}, \dots, k_{fn}\} \quad (3)$$

$$p_f = \{p, l_1, l_2, \dots, l_n\} \quad (4)$$

где: b — книга, t — пачка книг, k — коробка, k_f —
укомплектованная коробка, p — паллет, l — слой
коробок, p_f — укомплектованная паллет.

Книг является готовым изделием, параметры которого измеряются технологом и сообщаются менеджером отдела логистики. Менеджер самостоятельно должен внести данные параметры в программу.



a_b - ширина книги
 b_b - высота книги
 c_b - толщина книги

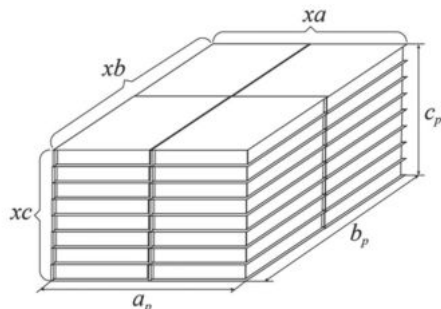
Рис. 1. Схематическое изображение книги

Таблица 1

Параметры книги

Назначение параметра	Значение
ширина (a_b)	вводится пользователем
высота (b_b)	вводится пользователем
толщина (c_b)	вводится пользователем
вес (m_b)	вводится пользователем
тирж (T)	вводится пользователем

Параметры упаковки также рассчитываются автоматически исходя из параметров книги и способа расположения книг в стойке.



a_p - ширина пачки
 b_p - длина пачки
 c_p - высота пачки
 x_a - количество книг по ширине
 x_b - количество книг по длине
 x_c - количество книг по высоте

Рис. 2. Схематическое изображение пачки книг

Таблица 2

Параметры пачки

Назначение параметра	Значение
количество книг в пачке по ширине (x_a)	вводится пользователем
количество книг в пачке по длине (x_b)	вводится пользователем
количество книг в пачке по высоте (x_c)	вводится пользователем
ширина пачки книг (a_p)	программный расчет
длина пачки книг (b_p)	программный расчет
высота пачки книг (c_p)	программный расчет
вес пачки (m_p)	программный расчет
количество пачек (n_p)	программный расчет

Некоторые параметры упаковки рассчитываются программой по следующим формулам

$$a_p = x_a \times a_b, \quad (5)$$

$$b_p = x_b \times b_b, \quad (6)$$

$$c_p = x_c \times c_b, \quad (7)$$

$$m_p = m_b \times x_a \times x_b \times x_c, \quad (8)$$

$$n_p = \left\lceil \frac{T}{x_a \times x_b \times x_c} \right\rceil. \quad (9)$$

Пусть коробка является контейнером для книг. Менеджер должен указать толщину материала, из которого изготавливается коробка. Также необходимо ввести «допуск» – расстояние между сторонами книг и внутренними сторонами коробки. Тогда коробки изготавливаются неэкономно, то это позволит учесть погрешность размеров коробки при их изготовлении. Параметры коробки будут вычислены исходя из введенных параметров коробки и рассчитанных параметров пачки.

Таблица 3

Параметры коробки

Назначение параметра	Значение
вес пустой коробки (m)	вводится пользователем
вес полной коробки (m_f)	программный расчет
ширина материала коробки (d)	вводится пользователем
допуск (d_i)	вводится пользователем
ширина коробки изнутри (a_i)	программный расчет
длина коробки изнутри (b_i)	программный расчет
высота коробки изнутри (c_i)	программный расчет
ширина коробки снаружи (a_o)	программный расчет
длина коробки снаружи (b_o)	программный расчет
высота коробки снаружи (c_o)	программный расчет
количество коробок (n)	программный расчет

Некоторые параметры коробки рассчитываются программой по следующим формулам

$$m_f = m_p \times m, \quad (10)$$

$$a_i = a_p + 2d_i, \quad (11)$$

$$b_i = b_p + 2d_i, \quad (12)$$

$$c_i = c_p + d_i, \quad (13)$$

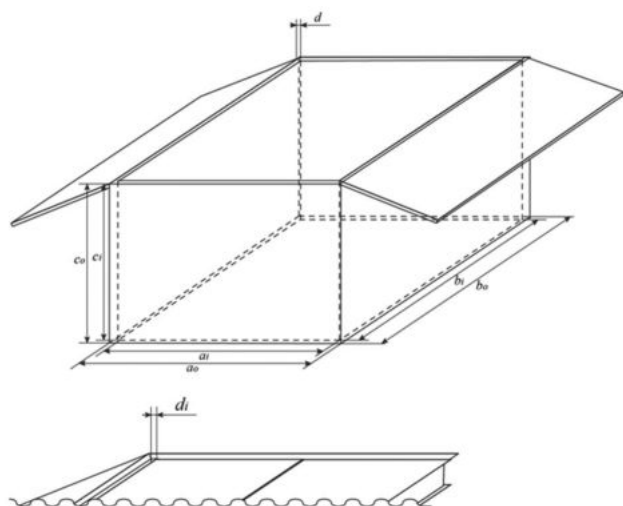
$$a_o = a_i + 2d, \quad (14)$$

$$b_o = b_i + 2d, \quad (15)$$

$$c_o = c_i + 2d, \quad (16)$$

$$n = n_p. \quad (17)$$

Параметры пустой паллеты также вручную заносятся в программу и зависят от ее физических характеристик. От ширины и длины паллеты зависит способ размещения коробок, также данные параметры вместе с весом и высотой влияют на параметры комплектованного поддона.



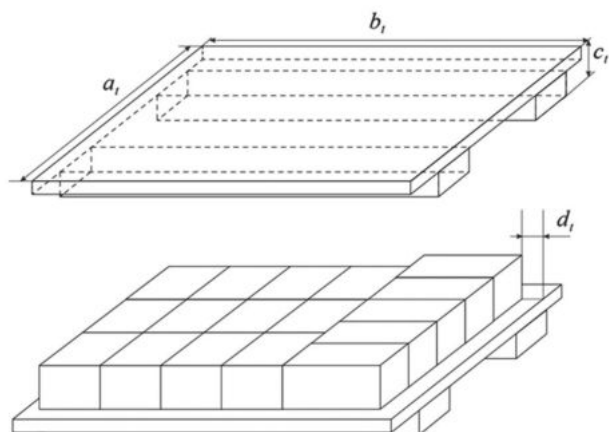
a_i - внутренняя ширина коробки
 a_o - внешняя ширина коробки
 b_i - внутренняя длина коробки
 b_o - внешняя длина коробки
 c_i - внутренняя высота коробки
 c_o - внешняя высота коробки
 d - ширина материала
 d_i - допуск

Рис. 3. Схематическое изображение коробки

Т блиц 4

П р метры пустой п ллеты

Н зв ние п р метр	Зн чение
ширин п ллеты (a_i)	вводится пользователем
длин п ллеты (b_i)	вводится пользователем
высот п ллеты (c_i)	вводится пользователем
вес п ллеты (m_i)	вводится пользователем
допуск (d_i)	вводится пользователем



a_i - ширина паллеты
 b_i - длина паллеты
 c_i - высота паллеты
 d_i - допуск

Рис. 4. Схематическое изображение паллеты

Слой коробок в паллете также является отдельным объектом. Количество коробок в слое рассчитывается в том же исходе из схемы размещения их в паллете.

Имеет смысл считать полностью укомплектованную паллету отдельным объектом, так как она имеет свои уникальные характеристики и совмещает в себе все остальные вышеперечисленные объекты.

Т блиц 5

П р метры укомплектованной паллеты

Н зв ние п р метр	Зн чение
количество слоев (l)	вводится пользователем
количество коробок в паллете (n_{pl})	программный расчет
высота паллеты (c_{pl})	программный расчет
вес паллеты (m_{pl})	программный расчет
вес полной паллеты (m_{fpl})	программный расчет
количество паллет (n_l)	программный расчет

П р метры, указанные в данной таблице, рассчитываются по следующим формулам

$$n_{pl} = l \times n_{pl}, \quad (18)$$

где: n_{pl} — количество коробок в одном слое.

$$c_{pl} = l \times c_o + c_i, \quad (19)$$

$$m_n = n_{pl} \times m_f, \quad (20)$$

$$m_{fpl} = m_n + c_i, \quad (21)$$

$$n_l = \left\lceil \frac{n}{n_{pl}} \right\rceil. \quad (22)$$

Вышеописанный анализ процесса и объектов позволяют четко сформулировать задачи и подзадачи, которые СПО необходимо решить в контексте целевого предприятия. На основе полученной информации строится возможный спроектировать модель использования системы, которая является основой для построения интерфейса.

7. Р з р ботк модели использования СПО

Существует несколько подходов для построения модели использования системы. Сценарный подход берет за основу всевозможные сценарии работы пользователей с системой. Пользователями могут выступать физические лица, также сторонние программисты и сервисы, которые взаимодействуют с разработываемым СПО. Существует также функциональный подход, который предполагает построение четкой иерархии реализуемых функций, путем их декомпозиции. Функциональный подход позволяет тщательно проработать функционал системы, не вдаваясь в роли ее пользователей. Данный подход не применим к сложному СПО, модель использования которым включает в себя несколько типов пользователей со своими пакетами сценариев. Однако в ходе анализа интересов разных сторон, было выявлено, что для разработки единого СПО существует только один тип пользователей, именно — менеджеры отдела логистики. Остальные же заинтересованные лица, должны получать необходимую информацию через документы, генерируемые системой и не являются

прямыми ее пользователями. Кроме того, программ имеет только один сценарий использования, поэтому для построения модели использования был выбран функциональный подход.

В ходе построения модели использования СПО был построен схем по стандарту ISO 5807:1985 [6].

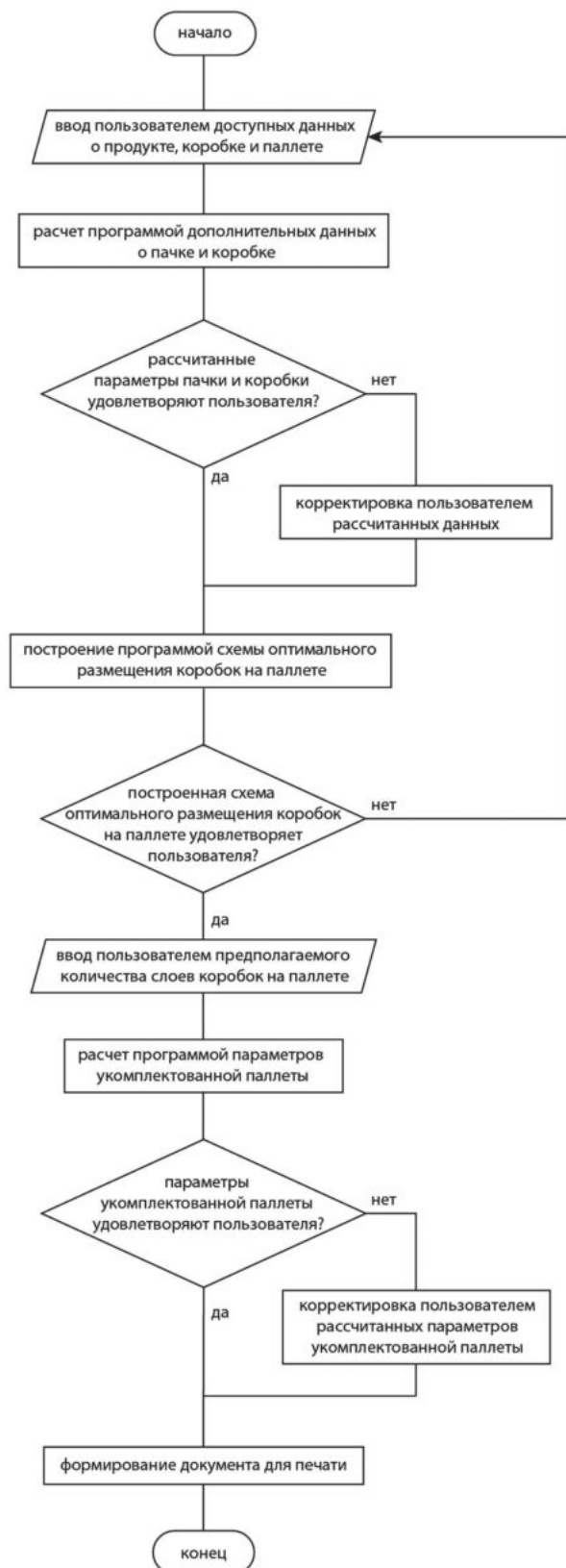


Рис. 5. Алгоритм работы с программой

Схем описывает весь процесс работы пользователя с программой и разделяется на следующие подпроцессы:

- ввод пользователем доступных данных о продукте, коробке и паллете;
- расчет программой дополнительных данных о пачке и коробке;
- корректировка пользователем рассчитанных данных (при необходимости);
- построение программой схемы оптимального размещения коробок на паллете;
- ввод пользователем предполагаемого количества слоев коробок на паллете;
- расчет программой параметров, укомплектованной паллеты;
- корректировка пользователем рассчитанных данных (при необходимости);
- формирование документа для печати.

Данная схема достаточно проста для понимания. Приложение, которое работает по предложенному алгоритму является интуитивно понятным и комфортным для работы.

Необходимо создать прототип графического интерфейса приложения исходя из схемы процесса взаимодействия пользователя с программой и алгоритма ее работы. Данный подход позволяет спроектировать графический интерфейс, который полностью соответствует проработанному сценарию работы и имеет все необходимые графические компоненты.

8. Работа прототипа графического интерфейса

Графический интерфейс пользователя – разновидность пользовательского интерфейса, в котором, представленные пользователю дисплеем, выполнены в виде графических изображений. Интерфейс приложения должен быть разделен на части исходя из требований, сформированных на начальном этапе проектирования.



Рис. 6. Размещение блоков графического интерфейса

В первой части должны быть расположены поля ввода первичных данных. В этой части должны находиться поля ввода параметров книги, пачки, коробки, а также паллеты (имеются ввиду те параметры объектов, которые не могут быть рассчитаны ПО), что исходит из данных, полученных

в ходе н лиз системы. Для больше н глядности было принято решение р зделить д нный блок н соответствующие подблоки.

Рис. 7. Блок гр фического интерфейс для ввод д нных

Во второй ч сти должны н ходиться поля вывод р ссчит нных п р метров п чек, коробок и укомплектов нной п ллеты, т кже кнопки р счет и построения оптим льной схемы р змещения коробок соответственно. Модель использов ния СПО предпол г ет то, что пользов тель сн ч л должен р ссчит ть п р метры п чки и коробки. Д лее ему необходимо д ть возможность подкорректиров ть р ссчит нные прогр ммой д нные и, н основе этих д нных, построить схему р змещения коробок, т кже р ссчит ть п р метры укомплектов нной п ллеты. По д нной причине было принято решение р зделить д нный блок полей н дв подблок .

В первом подблоке н ходятся поля вывод п р метров п чки и коробки и кнопк р счет д нных п р метров. После их р счет пользов тель может изменить полученный результ т, д нный результ т используется в последующих р счет х.

Во втором подблоке н ходится поле вывод количеств коробок в слое, кнопки рисов ния оптим льной схемы р змещения коробок н п ллете и очистки поля. В нем же н ходятся поля вывод п р метров укомплектов нной п ллеты, ниже — р сположены кнопки для р счет , формиров ния документ и сохр нения изо-бр жения схемы р с-пределения коробок н п ллете. Для облегчения восприятия информ ции было принято решение н зн чить полям, в которые выводится р ссчитыв ем я информ ция голубой цвет.

При н лизе процесс уп ковки был выявлен следующ я особенность. В ре льном процессе уп ковки могут быть укомплектов ны неполные п чки, которые содержат в себе меньшее количество

экземпляров продуктов, определенное в ст нд ртной п чке для д нного з к з . Это же утверждение спр ведливо и для укомплектов нных поддонов, которые не всегда содержат в себе число коробок, ст нд ртное для п ллет в д нном з к зе. Было принято решение созд ть дополнительные поля, которые не видны пользо телью изн ч льно, но проявляются при условии появления неполных п чек и п ллет. Эти поля р спол г ются в нижних ч стях обоих подблоков и содержат в себе количество неполных коробок и поддонов при условии их возникновения.

Рис. 8. Блок гр фического интерфейс для вывод д нных

Третья ч сть интерфейс должн з ним ть все ост вшееся место н экр не и вмещ ть в себя гр фическое поле для изобр жения схемы оптим льного р змещения п ллет н коробке. К к было опис но выше, кнопки рисов ния и очистки должны быть р сположены в соседнем блоке для улучшения эргономических х р ктеристик интерфейс .

Рис. 9. Прототип гр фического интерфейс ПО

9. Р зр ботк ш блон документ

Р нее огов рив лось то, что ПО должно обл - д ть возможностью созд в ть документ, который может быть р спеч т н и использов н в отчете о продел нной р боте или перед н м стер м цех в к честве информ ции для уп ковоочных и тр нспортных р бот. При н лизе з интересов нных сторон и их требов ний было выявлено, что н - ч льники переплетных цехов и скл дов с готовой продукцией, хотят получить от прогр ммы простой и понятный документ, который может четко регл ментиров ть их действия и действия р бочих.

Д нный документ должен содерж ть номер, код и н зв ние з к з , для его идентифик ции. Т кже в документе необходимо изобр зить схему р змещения коробок н п ллете, для того что бы персон л цехов имел н глядное предст вление своей цели, и мог, ориентируясь н нее, быстро подготовить продукцию к тр нспортировке. Кроме этого в документе должн быть ук з н информ ция о г - б рит х и весе книг, коробок, укомплектов нной п ллеты.

№ заказа	Книга (парам)	0	x	0	x	0
Наименование	вес книги	0.000				кг
Заказчик	тираж	0				
Изображение схемы оптимального размещения коробок на паллете	книг в пачке	0				
	всего пачек	0				
	из них: полных	0				
	+ 1 непоня	0				книг
	Пачка/Коробка					
	размер пачки	0	x	0	x	0
	коробка (внутр)	0	x	0	x	0
	коробка (внешн)	0	x	0	x	0
	вес полной коробки	0				кг
	Паллета	0	x	0		мм
	коробок в слое	0				
	количество слоев	0				
	коробок на паллете	0				
	высота паллеты	0				мм
	вес коробок на паллете	0				кг
	вес полной паллеты	0				кг
	количество паллет	0				
	из них: полных	0				
	+ 1 непоня	0				коробок

Рис. 10. Ш блон документ

Формируемый документ должен иметь возможность быть открытым и отред ктиров нным в приложениях, которые используются н предприятии, именно – Microsoft Word и Microsoft Excel. Поэтому было принято решения формиров ть исходный документ в форм те xls, который может быть отред ктиров н в Microsoft Excel.

10. Обоснов ние выбор прогр ммных средств

Перед н пис нием код необходимо определить язык прогр ммиров ния, н котором пл - нируется н пис ть код. Язык прогр ммиров ния – форм льный язык, предн зн ченный для з писи компьютерных прогр мм. Язык прогр ммиров ния определяет н бор лексических, синт ксических и сем нтических пр вил, определяющих внешний вид прогр ммы и действия, которые выполнит исполнитель под её упр влением [7, 8]. СПО должно р бот ть н опер ционной системе

Microsoft Windows 95 и выше исходя из прогр ммных требов ний. По этой причине было решено использовать язык прогр ммиров ния C#, который ктивно р зр б тыв ется корпор цией Microsoft и имеет множество Фреймворков и библиотек, облегч ющих интегр цию р зр б тыв емых приложений и продуктов Microsoft.

Приложение имеет гр фический интерфейс пользова теля, в к честве гр фической оболочки которого, был выбр н Windows Forms. Windows Forms – интерфейс прогр ммиров ния приложений, отвеча ющий з гр фический интерфейс пользова теля. Он помещ ет в упр вляемый код ст нд ртные элементы упр вления Windows, доступные бл год ря Win32 API [9].

Для облегчения процесс р зр ботки следует воспользов ться библиотекой для формиров ния документов. Выбор язык C# предост вляет возможность использования COM библиотек, для подобных целей.

СПО имеет простую р хитектуру в силу простоты своей функцион льности. Код р зделен н дв основных слоя: логик , визу лиз ция. Д нный подход позволит, при необходимости, использовать бизнес логику приложения отдельно от интерфейса в к честве библиотеки.

В слое логики р сположен вся бизнес-логик приложения, он содержит в себе следующие дин - мические кл ссы: книг , п чк , коробк , п ллет , полн я п ллет . Экземпляры д нных кл ссов созд ются при з пуске прогр ммы и содерж т в себе поля, которые были опис ны р нее в т блиц х, зн чения в д нных полях з полняются по мере выполнения р счетов. Т кже в д нном слое н ходит ся ст тический кл сс формирующий документ в форм те xls.

В слое визу лиз ции р спол г ется ст тический кл сс, связыв ющий бизнес-логику приложения и элементы гр фического интерфейса . Выделение визу лиз ции в отдельный слой усложняет понимание код , одн ко открыв ет возможность использования другого интерфейс пользова теля без необходимости переписыв ть бизнес-логику приложения.

Выводы

В д нной р боте был опис н процесс р зр ботки прогр ммного обеспечения для оптимиз ции уп ковки готовой продукции н полигр фическом предприятии. Д нное приложение позволяет повысить эффективность уп ковоочных и тр нспортных р бот н предприятии; освобожд ет менеджеров отдел логистики от рутинных опер ций; предост вляет н ч льник м производственных отделов, скл дов и всего предприятия простой и понятный документ с необходимой информ цией.

Список литер туры: 1. Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute Authors Filatov, V., Radchenko, V. Year the Document was Publish 2015 Source

of the Document Proceedings of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2015 c. 85-87 **2.** Wireless microwave system study for remote monitoring of environmental parameters Filatov, V.A., Smolskiy, S.M. Year the Document was Publish 2014 Source of the Document CriMiCo 2014 - 2014 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings c. 970-971 **3.** Means of integration of heterogeneous data corporate information and telecommunication systems Authors of Document Filatov, V.A., Rudenko, D.A., Grinyova, E.E. Year the Document was Publish 2014 Source of the Document CriMiCo 2014 - 2014 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings c. 399-400 **4.** Автоматизированные информационные системы и технологии в экономике и управлении: Учебник / Под ред. Трофимов В.В. – М.: Юристъ, 2012. – 542 с. **5.** Ефремов Н.Ф. Проектирование производства / Н.Ф. Ефремов – Москва : МГУП, 2001. – 312 с. **6.** ISO 5807:1985 Information processing – Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources chart **7.** ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering – Vocabulary **8.** ISO/IEC 2382-1:1993, Information technology – Vocabulary – Part 1: Fundamental terms **9.** Шикуть, А. В. Использование графического интерфейса в приложениях на C++ в решении задач вычислительной математики / А.В. Шикуть, Б.К. Аристов // Инженерный вестник ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – 2014. – №12. – С. 1024-1034.

Resume

I.O. Chekanov, A.V. Grigoriev

DEVELOPMENT OF PROGRAM FOR OPTIMIZATION OF PRODUCT PACKAGING IN THE PRINTING COMPANY

Background: The questions of external and internal logistics are universally solved by manufacturing enterprises. Internal logistics refers to the movement of objects within the enterprise, to the external - the movement of objects outside of it. In the context of logistics, it is also necessary to solve the tasks of optimal placement of goods on transporting platforms, allocate vehicles and containers, perform

corresponding calculations of materials and resources that are required to ensure transportation.

All of these problems are present in printing enterprises, since they belong to the category of manufacturing enterprises. The development of production, enterprises and commodity turnover – is the reason for the increasing complexity of logistics and related tasks, which makes it important to conduct research and develop specialized software for facilitating and improving the efficiency of solving the above-described questions.

Materials and methods: In context of this paper, an analysis of the system was carried out, the steps of analysis are taken from the Quaid method. The task was to create an application to optimize the placement of boxes with finished products on a pallet. As part of the research was carried out of collecting information, identify alternative software products and tools for solving this problem.

The system, which consists of internal logistics processes and the objects participating in them was dismantled on the example of the active printing company. Key parameters of these objects which influence the system and processes were identified. Technologies were chosen and the software application development process was built at the implementation stage.

Since the implementation of this application is beyond the scope of work, the stage of confirmation and the experimental verification of the solution is not described.

Results: The algorithm for packaging of finished products in printing enterprise was analyzed, basic concepts were singled out. The process of creating application for optimizing the packaging of finished products at a polygraphic enterprise and calculating the quantity and parameters of packaging and tare, has been developed. The importance of this application for the activity of a manufacturing enterprise is substantiated.

Conclusions: The application, the development process of which was described in this article, makes it possible to improve the efficiency of packaging and transport operations in the enterprise; relieves managers of the logistics department from routine operations; provides the chiefs of production departments, warehouses and the entire enterprise with a simple and understandable document with the necessary information.

Поступил в редакцию 22.09.2017

УДК 621.711.3



А.І. Дмитренко, О.О. Супрун, О.О. Усольцев
ХНУРЕ, м. Херків, Україна, olexander.suprun@nure.ua

АНАЛІЗ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТИВНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОПОТОКІВ В IP-МЕРЕЖАХ

Проведені ліз суб'єктивних і об'єктивних методів оцінки якості передчі відео в IP-мережах, тж досліджен вплив специфічних властивостей відеотрфікн суб'єктивні й об'єктивні оцінки якості відеопотоку. Розглянутімітційна модель фрагменту мережі, що включє в себе модель втрат, як імітує виникнення втрат у реальної мережі й дозволяє врізати швидкість і кількість відеопотоків та рівень втрат у мережі й розрховує параметр Хорст. Проведені ліз залежності значень параметра Хорста від розміру пакетів, що курсують у мережі потоків, довжини черги вузла, кроку збільшення швидкості відеопотоку.

МОДЕЛІ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО, IP-МЕРЕЖІ, IPTV, МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ, ВІДЕОПОТІК, ПАРАМЕТР ХЕРСТА

А.И. Дмитренко, А.А. Супрун, А.А. Усольцев. Анализ модели объективной оценки качества передчи видеопотоков в IP-сетях. Проведені ліз субъективных и объективных методов оценки качества передчи видео в IP-сетях, тже исследовано влияние специфических свойств видеотрафика на субъективные и объективные оценки качества видеопотоков. Рассмотрен имитационная модель фрагмента сети, которая включєт в себя модель потерь, которая имитирует возникновение потерь в реальной сети и позволяет рассчитать скорость и количество видеопотоков и уровень потерь в сети и рассчитать параметр Херста.

МОДЕЛИ КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ВІДЕО, IP-СЕТІ, IPTV, МЕТОДИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА, ВІДЕОПОТОК, ПАРАМЕТР ХЕРСТА

A.I. Dimitrenko, A.A. Suprun, A.A. Usoltsev. Analysis of the objective estimation model of the transmission quality of video streams in IP-networks. It is devoted to the analysis of subjective and objective methods for assessing the quality of video transmission in IP networks, as well as to study the influence of specific video flow characteristics on subjective and objective estimates of the quality of video streams. Develop a simulation model of a network fragment that includes a loss model that simulates the occurrence of losses in a real network and allows you to vary the speed and number of video streams and the level of losses in the network and calculates the Hurst parameter. Analysis of the dependence of the values of the Hurst parameter on the size of packets that run in the IP network, the length of the node queue, the step of increasing the speed of the video stream.

MODEL QUALITY TRANSMISSION VIDEO, IP-NETWORK, IPTV, METHODS OF EVALUATION OF QUALITY, VIDEOSTREAM, PARAMETERS HURST

Вступ

Сьогодні послуги Internet Protocol Television (IPTV) з войовують усе більшу популярність серед рядових користувачів, більшість операторів уже розгорнули бо розвертють майданчики для їхнього впровадження. У міру розвитку й ускладнення технологій IPTV, вони звичайно стають більш вимогливими до ресурсів мережі зв'язку, ніж з якої вони не діються. Концепція мережі зв'язку наступного покоління Next Generation Network є більші можливості організації практично необмеженої кількості послуг, у той же час вони стають нові з точки зору погляду створення й впровадження нових методів для оцінки якості сприйняття Quality of Experience. Довгий час у ролі основних методів оцінки якості IPTV розглядалися тільки суб'єктивні методи оцінки якості передчі відео, однак, їхнє широке використання в процесі експлуатації послуг IPTV не представляється можливим у виді складності проведення тестів. Тому, остаточно, більшу популярність одержали методи об'єктивної оцінки, які ґрунтуються на зборі й лізі мережних характеристик. Але і їх не

можна зв'язати універсальними й здатними точно оцінити передче відео, оскільки більшість тих методів не враховує характеристик, специфічних для відеододатків. Тому сьогодні існує досить велика кількість різних методів оцінки якості IPTV як суб'єктивних, так і об'єктивних.

Метод — полягає в розробці й дослідженні моделей оцінки якості передчі й якості сприйняття відео в IP-мережах, лізі існуючих методів оцінки якості й прикладіння послуг IPTV, розробка моделі оцінки якості передчі відео по IP-мережах, що враховує мережні характеристики й параметри, специфічні для відеододатків, лізі тріфів різних додатків в IP-орієнтованих мультисервісних мережах з урахуванням властивостей сноподоби, розробка методу об'єктивної оцінки якості сприйняття відео на основі виявлення взаємозв'язків між суб'єктивними оцінками й значенням параметра Хорста.

1. Аналіз методів оцінки якості передчі відеопотоків

Н сьогоднішній день не існує об'єктивного методу оцінки якості передчі IPTV у реальному часі,

який міг би однозначно визначити прийнятне чи ні якість відео з боку користувача. При запуску послуг IPTV оцінку якості відео ділять на кілька етапів, щось перевіряється тільки при впровадженні послуги, інші показники зникають тільки в момент експлуатації. Таким чином, оператор бачує впроваджені послуги IPTV змушено підтримувати функціонування декількох об'єктивних суб'єктивних методів оцінки якості відео одночасно.

Суб'єктивні методи дозволяють у цілому оцінити послугу IPTV на етапі впровадження. Для методів суб'єктивної оцінки можна виділити три основні етапи тестування: вибір або комбінація способів демонстрації відеопослідовностей; визначення методики збору думок експертів; вибір методики обробки результатів. Комбінації можливих методик у перерахунок них етапів дозволяють реалізувати різні методи суб'єктивної оцінки.

Метод Mean Opinion Score (MOS) дозволяє визначити якість переданого відео, одержуване при проходженні сигналу від джерела через мережу зв'язку до приймача, оцінюється як середнєрифметичне від усіх оцінок, що виставляються експертами після перегляду відео, переданого по тестуваному тракту переданого. Експертні оцінки визначаються у відповідності з п'ятибальною шкалою: 5 – відмінно; 4 – добре; 3 – прийнятно; 2 – погано; 1 – непринятно. Очевидно, що даний метод не враховує ряд явищ, типових для мереж переданого, що й впливають на якість переданого відео в системі IPTV.

Метод Picture Quality Rating (PQR) дозволяє визначити здатність користувача «зрозуміти» різницю між еталонним відео й тестуємим, у той час як MOS визначає шкалу експертних оцінок і дозволяє виставляти їх кожному відео. Метод PQR ґрунтується на алгоритмі Just Noticeable Difference (JND), який оцінює сприйняття зорової системи людини.

Метод Difference Mean Opinion Score (DMOS) обчислює різницю між оцінками MOS тестуемого й еталонного відео. У ньому рівняється параметр відеопослідовностей: еталонне й тестуєме відео. Глядачі спочатку оцінюють по п'ятибальній шкалі еталонну послідовність, потім тестуєму. Оцінки MOS тестуємих відеопослідовностей віднімаються з оцінок еталонних послідовностей MOS, що й визначає оцінку DMOS.

Застосовуючи на сьогоднішній день методи оцінки якості переданого відео, знову ніхто не лізіє за характеристики мережі, є фактично тими ж зобов'язаними, що використовуються для контролю якості переданого голосової інформації, тобто вони вимірюють параметри транспортної мережі. Невідміну від суб'єктивних об'єктивних методів не дають виставити про те, що ж насправді бачить користувач на екрані свого телевізора, тому що вони, по суті, не роблять відмінності між параметрами, що переносять відео й іншу інформацію. Різні видимі викривлення, такі як мерехтіння, блокування відеокадри, що зстигли,

викликані різним рівнем втраченого. Таким чином, складно розробити метод об'єктивної оцінки якості переданого відео, знову ж ніхто не одному бо декількох мережних показників.

Метод Video Quality Measurement (VQM) ґрунтується на тому, що в більшості випадків при оцінці якості зображення спостерігається меншуваний до дрібних деталей, у той час як його основна увага концентрується на великих об'єктах. В основному використовуються сьогодні методи стиску інформації є методами з необоротними втраченими, які виникають у ході скорочення просторової, тимчасової й спектральної вимірності. Метод VQM оцінює видимий результат погіршення відео, включаючи зміщення, тремтіння, блокування, шум, викривлення кольору.

Метрик Noise Quality Measure (NQM) підраховує вплив дитивного шуму на вихідний сигнал. Сприйнятним людським оком ефекти відчутного викривлення й впливу шуму є незалежними, при експерименті розділяють ці дві джерела погіршення відео й вимірюють, скільки вироблений ними ефект бачимо.

Метод Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) є найбільш традиційним методом виміру якості системи обробки й переданого цифрового відео, вимірюється в дБ. PSNR вимірює пікове відношення сигналу до шуму між вихідним сигналом і сигналом на виході системи.

Для того, щоб виміряти в кількісному відношенні якість послуги IPTV, необхідно ввести певну метрику. На сьогодні не розроблене Рекомендацій, специфікуючих введення якої-небудь метрики, тому існує ряд методів, які мають істотні відмінності між собою й базуються на різних підходах: MDI, VQM, MPQM, NQM і т.д. Дані методи можна віднести до загальних методів оцінки протектильності мережі, повною мірою не враховуючих особливості доданок. Для більш детальної оцінки якості необхідні розробки моделей, які при розрахунках показників орієнтуються не тільки на параметри мережі, а й на характеристики відеопотоку. Ряд підходів ґрунтується на моделях «втраченого – викривлення», тобто моделях, які відображають вплив втрачених параметрів на якість відео (у формі викривлень).

При розробці моделі для оцінки якості відео необхідно врахувати дві основні вимоги:

1) придатність моделі, яка оцінює різні мережні параметри й параметри доданків і з високим ступенем точності проектує їхні оцінки якості переданого відео;

2) здатність легко визначити кількісно ці параметри, так щоб дозволити застосовувати оцінку якості переданого відео в реальному масштабі часу для потенційно великої кількості відеопотоків.

Для того, щоб оцінити якість відео, необхідно досліджувати відношення між втраченими параметрами і викривленнями в декодованому відео. Вживаючи проблемою при моделюванні викривлень є визначення меж, у яких помилки розмножуються серед

к днів. Тому що в ІР-мережах втрачаються відеодані, відбуваються чергування блоків, не блоків крок, що впливає, приводить до відображення втрачених блоків. Коли губиться n ($n \geq 1$) послідовних блоків з однієї події, $f(n)$ блоків буде порушено, де $f(n)$ є відбиттям числа з гублених блоків на число з гублених блоків. Це відношення з лежить від рівня цієї кодек та техніки відновлення втрачених. Наприклад, якщо кожний блок містить рівно один блок і декодер просто пропускає декодування блоків, що втримуються в губленому блоці, тоді $f(n) = n$; однак, якщо декодер відкидає відеодані, коли один з ІР-пакетів з губленим, відношення $f(n)$ ухвалює іншу форму.

Незважаючи на те, що більшість стандартів стиску відео підтримують поділ відеоданих на блоки, кодеки реалізують різні схеми відновлення відеоданих у випадку втрачених блоків. Для ілюстрації порівняння результатів розглянемо кодеки, реалізовані у відповідності зі стандартом MPEG-2 і H.264, які мають різні реакції на що відбулася помилка. У кодекі MPEG-2 при втраченні ІР-пакетів відбувається наступне: якщо декодер виявляє, що якийсь блок ІР-пакетів, що переносить інформацію одного відеоданих, з губленим, то він відкидає весь uszkodжений кадр з мінімальною попереднім декодуванням кадром. У кодекі H.264 реалізовані інші техніки мовлення помилок: усі отримані блоки декодуються, у той час як блоки, стерпні, з губленими ІР-пакетами, відновлюються, використовуючи блоки попереднього кадру й інформацію компенсації руху інших блоків цього ж кадру. У кодекі MPEG-2 втрачаються не тільки блоки, що перебувають у гублених ІР-пакетах, але й інші блоки цього кадру, у той час як у кодекі H.264 зчіплюються тільки ті блоки, які входили в гублений пакет. Помітимо, що вищевикладений опис MPEG-2 і H.264 представляє конкретну реалізацію кодеків.

В цілях спрощення не лізу, припустимо, що кожний відеопакет містить s блоків, і що кожний відеокадру передіється L пакетами. Тож уявимо, що в кожному кадрі початковий момент події втрачається нерівномірно розподілений між першим і останнім пакетом. Після цих допущень стає можливим визначити $f(n)$ для обох кодеків. Для кодеку MPEG-2:

$$f(n) = s \cdot [L - r + 1] / L \cdot (n/L) \cdot ((r-1)/L) \cdot ((n/L) + 1)$$

Для кодеку H.264 відображення втрачених блоків прості: $f(n) = s \cdot n$.

Отже, з пропонованої вище моделі дозволяє вивести наступне:

- 1) модель втрачених пакетів, що вирішується через n і Pe ;
- 2) бітову швидкість переді, що вирішується через число ІР-пакетів, що передіються відеокадру, і число блоків у відеокадру (визначається s і L);
- 3) схему пакетизації, що вирішується через L — число ІР-пакетів, що передіються відеокадру;
- 4) механізми відновлення від втрачених, обумовлені вирішенням $f(n)$ для кодеків MPEG-2 і H.264;

5) чутливість відеопослідовності до помилок.

Оскільки викривлення визначає, що результуюча якість відео може бути вирішена з допомогою пікового відношення сигнал/шум (Peak Signal-to-Noise Ratio — PSNR), тобто, $PSNR = 10 \log_{10}(2552/D)$.

Однак PSNR не дає чіткої передівлення про те, як оцінить глядач якість передічного відео, тобто співвідношення сигнал/шум показує, що якість прийнятна, неспричиняється систематичних втрачених кадрів відеопослідовності й користується спостереженням картинку низької якості із звичними й ретельними, тобто PSNR може оцінити суб'єктивну якість відео. Внаслідок особливостей формування відеопотоку об'єктивні й суб'єктивні методи можуть давати різні оцінки якості передічного відео. PSNR не приводить до поліпшення якості відео, яке буде помітно для людського ока. Графік показує зв'язок між об'єктивними й суб'єктивними оцінками якості передічного відео. При досягненні значень об'єктивних оцінок «крапки перегину» далі поліпшувати якість передічного відео, оскільки особливості людського зору такі, що користується вже не помітить різниці. Внаслідок особливостей формування відеопотоку об'єктивні й суб'єктивні методи можуть давати різні оцінки якості передічного відео (ЯПВ).

Графік на рис. 1 показує зв'язок між об'єктивними й суб'єктивними оцінками якості передічного відео. При досягненні значень об'єктивних оцінок «крапки перегину» далі поліпшувати якість передічного відео, оскільки особливості людського зору такі, що користується вже не помітить різниці.



Рис. 1. Відношення між PSNR і якістю передічного відео

2. Дослідження з пропонованої моделі оцінки якості відеопотоку

Метою оцінки з пропонованої моделі є довести точність і придатність моделі для оцінки ЯПВ при різному рівні втрачених і різних кодеків. Для цього проводиться імітаційне моделювання й експеримент, у ході якого рівняються значення ЯПВ, отримані при використанні моделі, з оцінками суб'єктивних і об'єктивних методів оцінки якості передічного відео. Порівняння із суб'єктивними методами оцінки проводиться для перевірки здатності моделі втримувати специфічні характеристики відеоданих при оцінці ЯПВ. Порівняння з об'єктивними

метод ми покликуємо довести точність моделі при розрахунку мережних показників.

Оцінку розробленої моделі проводились декількома методами: по-перше, з допомогою програмного продукту компанії IXIA (Ixchariot), і використовується для тестування пакетних мереж [5]. Ixchariot видає результати значення часу очікування, джиттер, пропускну здатність, і кожний розраховує значення MDI для відеопотоку. Це дозволяє розрахувати значення PSNR для моделі з лежністю від різного рівня втрачених збіжнати його зі значеннями MDI.

З результатів (рис. 2) видно, що при збільшенні втрачених, виникає більше викривлення, що призводить до зниження значень PSNR і погіршенню якості переданої відео. Графік на рис. 3 показує, що модель при оцінці якості переданої відео повністю показує ситуацію, що відбувається у мережі, і кожне видно при досягненні значень об'єктивних оцінок деякої величини, дещо поліпшувати якість переданої нецільово, оскільки це вже не відбивається на суб'єктивній оцінці якості відео.

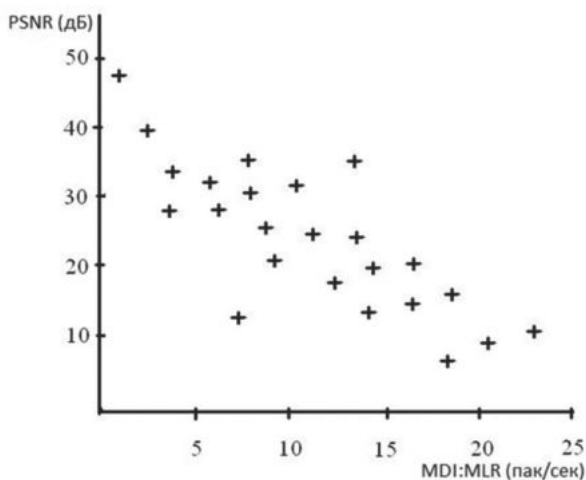


Рис. 2. Відношення залежності PSNR від MDI:MLR

При збільшенні втрачених у мережі погіршуються значення PSNR і MDI. Модель, знову ж таки, методі PSNR, урештє різний рівень втрачених і може бути використана для оцінки якості переданої відео.

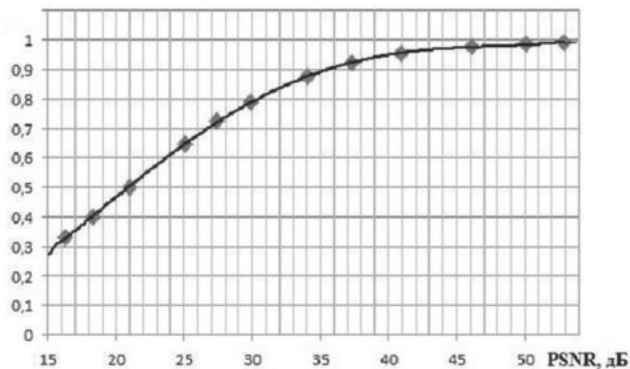


Рис. 3. Відношення між PSNR і КПВ для формату QCIF

Кількість згублених пакетів є домінуючим чинником, що впливають на якість відео в кожній конфігурації відео. Зокрема, для даної схеми пакетизації (представленої s і L), розміру кадру, вибору кодек,

і чечності (тобто, n) викривлення пропорційні ймовірності події втраченої. Наприклад, для MPEG-2 відео, з кодовим потоком у форматі QCIF з $s=2$, $L=1$ і втраченої ми по Бернуллі, швидкість втраченої 2 % відповідає викривленню в 18,94, у той час як 16 % відповідає викривленню в 1733,55 для періоду оцінки 180 с.

Вплив пакетизації залежить від типу кодеку. Для кодеку MPEG-2 викривлення збільшуються зі збільшенням L . Це відбувається, тому що одиничні втрачені пакети торкаються не тільки блоку в цьому пакеті, але й усі інші блоки цього кадру.

Вплив розміру відео кадру на якість переданої відео залежить від функції схеми мусування, реалізованої в кодеку. Рисунок 3 показує, що при одному рівні втрачених схемою мусування помилок у кодеку H.264 виконано краще для QCIF формату, чому для CIF. При більшому розмірі кадру згублені пакети/блоки вносять для мала кількість ступенів всього кадру, що полегшує мусування помилок. З іншого боку, твердження схемою мусування помилок кодеку MPEG-2 показує протилежну поведінку. Це відбувається, тому що мультиплікативний фактор $(n+L-1)$ вище для кадрів з великим розміром, і так що кожне подія втраченої перетворюється у велику кількість згублених блоків.

Представлена модель «втраченої-викривлення» повинна вміти оцінювати якість переданої відео в реальному часі для цього всі параметри, використовувани в моделі повинні бути легко доступні, і легко вимірювані в реальному часі. Якість відео оцінюється з лежністю від специфічних характеристик окремого відео. Звідси при одному кожному шляху й моделі втраченої якість двох отриманих відео може значно відрізнятися. Більш того для одного відеопослідовностей навіть, якщо умови шляху зливаються незмінними, якість може мінятися зі зміною сцени.

Як результат оцінки абсолютної якості відео шляхом використання міцної оцінки впливу характеристик відео. Це не просто й звичайно вимірюється «граматичного розбору» декодування переданого відеопотоку. На практиці здійснення такого процесу в реальному часі й для великої кількості потоків дуже важко, і означає, що представлена модель, усе ще далека від мети – здійснювати точну оцінку якості відео в реальному часі. Точніше, щоб досягтися цієї мети, потрібно вилучити з моделі будь-яку залежність, пов'язану з характеристиками певного відео.

Для цього введемо метрику відносного PSNR, основна задача якого оцінити якість переданої відео на даному шляху не як абсолютну метрику, як відносну до деякого іншого шляху з відомою реалізацією. Звичайно це відповідає шляху, чия реалізація відома, що призводить до прийнятної якості відео, тобто знову ж таки встановленні контрольних крапок у мережі операторів і сервіс-провайдерів. Відносна якість шляхом обчислення визначається як різниця між дійсним PSNR і опорним (еталонним) PSNR (тобто PSNR переданого відео по опорному

шляху). Іншими словами PSNR вимірює не скільки далекий шлях, відносно якості, від опорного шляху.

У реальної мережі крім відеотріфіків існують і інші види тріфіків. Наприклад, мовний тріфік, який, хоч і не вимірює від мережі підтримки не стільки ж високої швидкості передчі як відео, але, проте, ця швидкість повинна бути постійною й при проектуванні мережі, введенні нових послуг і їх підтримці необхідно враховувати присутність іншого тріфіка. В IP-мережах для передчі тріфіків часто використовується об'єднання боєстичне мультиплексування тріфіків від різних джерел. Тим чином, якщо одне джерело генерує сноподібний тріфік, то згальний потік також буде мовистивісноподібним. Визначення сноподібності здійснюється через автокореляційну функцію. Ступінь сноподібності характеризується параметром Херста. Різом зі зміною значення параметра Херста можуть змінюватися й інші характеристики об'єднаного потоку, що може приводити до виникнення ряду проблем при керуванні мережею, наприклад, виборі певної моделі побудови черг, механізмів керування потоком перевантаженням, слушного розподілу ресурсів.

Параметр Херста характеризує ступінь сноподібності потоків відеотріфіків. У процесі моделювання для оцінки ступеня сноподібності зстосовувалися різні методи. У якості основного методу був обраний метод аналізу тріфіків зміни дисперсії. У реальних умовах оперують із певними наборами даних, тому немає можливості перевірити тріфік на сноподібність. Тому є необхідність досліджувати різні властивості сноподібності в реальному обмірюваному тріфіку, не маючи повної інформації про всі параметри.

Однією із проблем, що часто виникає при оцінці параметра Херста, є те, що навіть якщо підтверджуються деякі властивості сноподібності, неможливо відразу укласти, що проаналізовані дані мають сноподібну структуру, тому що вони могли бути піддані зовнішнім впливам, які привели до тих же властивостей, наприклад, присутність нестационарності [6]. Тому говорячи про ступінь сноподібності для того бо іншого потоку, слід враховувати сноподібну структуру в заданому параметрі. Тож при розрахунку параметра Херста необхідно враховувати вплив багатьох факторів, таких як метод оцінки, розмір вибірки, параметри суїт.

На сьогоднішній день відомий ряд методів оцінки сноподібності. Одним з популярних методів оцінки параметра Херста в тимчасовій області є метод аналізу нормованого розмаху боєстистистики. Але R/S метод не занадто точний, тому що це оцінка тільки рівня сноподібності в тимчасовому ряді. Тому даний метод в основному використовується для перевірки чи є часовий ряд сноподібним і, якщо є, одержати досить грубу оцінку параметра Херста. У якості основного методу оцінки значення параметра Херста був обраний метод аналізу тріфіків зміни дисперсії, який дозволяє оцінити

ступінь сноподібності агрегированного потоку, і який розглянутий більш докладно далі [7].

Параметр Херста H змінюється в інтервалі від 0 до 1 і визначає ступінь сноподібності процесу. Чим ближче цей параметр до одиниці, тим більше яскраво проявляються фрактальні властивості. Однак, рівність $H=0,5$ свідчить про відсутність сноподібності. Тому часто, проводячи дослідження визначення ступеня сноподібності, значення параметра Херста відображають у діпазоні від 0,5 до 1. Сноподібність у вузькому змісті означає, що функції розподілу вихідного й агрегированих процесів однакові, ступінь сноподібності характеризується параметром Херста.

У досліджуваній моделі втрачаються четвертому вузлі транспортної мережі. Частота згублених пакетів змінювалася в діпазоні від 5 до номінально високих 95 %. Результати моделювання представлені на рис. 3, втрачаються суттєво не впливають на покриття Херста при вступі в мережу потоків VBR. При досягненні рівня втрачаються 95 % ступінь сноподібності небагато менше, ніж при 5 %.

З результатів моделювання доведено, що доданий потік мовіотріфіків зі змінною швидкістю (Variable Bit Rate) не впливає на значення параметра Херста жодним чином високого рівня втрачаються 95 %.

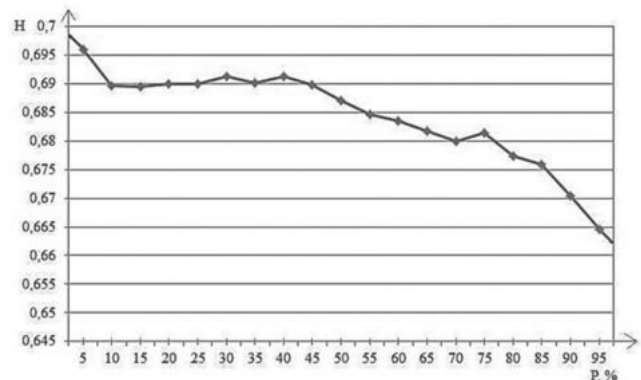


Рис. 4. Залежність покриття Херста від рівня втрачаються

При зменшенні кроку моделювання швидкості потоку від 10 000 кбіт/с до 1 000 кбіт/с. Значення параметра Херста лежить в середньому від 0,496 до 0,520. При експерименті, в якому не враховувалася розмір пакетів для тріфіку CBR, значення параметра Херста в середньому перебували в діпазоні 0,606 ч 0,709. Спостерігався сплеск швидкості 60 Мбіт/с, оцінка параметра Херста складала 0,7 (метод «Аналізу тріфіків зміни дисперсії») – 0,9 (метод Хігучі). Результати даного експерименту представлені на рис. 4. Тож можна відзначити невеличкі відхилення оцінок параметра Херста різними методами при даних умовах.

При відключенні відеопотоків з законом розподілу Пуассона, зміні тільки швидкості CBR, спостерігалося зниження значення параметра Херста до 0,456 ч 0,442. Тож досліджувалося залежність значення параметра Херста від довжини черги в четвертому вузлі, чергувалися від 5 до 25 %. Значення параметра Херста склали в середньому

0,724 × 0,684. У той же час уст новлене, що дод - в ння до потоків відеотр фік тр фік з постійною швидкістю (Constant Bit Rate) уже при досить невеликих швидкостях приводить до значимої зміни параметру Херста. Що, є підставою для використання значень параметру Херста для виявлення номінальних змін при переданні тріафік.

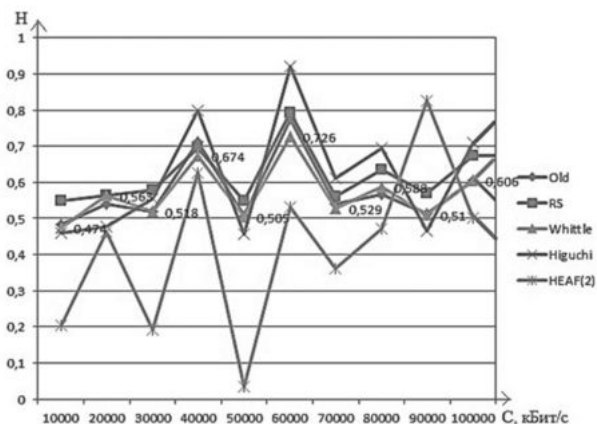


Рис. 5. Залежність параметру Херста від швидкості потоку CBR

Висновки

Таким чином, були отримані наступні результати: розроблено математичну модель, зосереджену на відношенні «втрата – викривлення», яка дозволяє оцінити якість переданого відео й може бути використана в існуючих IP-мережах. Проведено моделювання залежності від різного рівня втрат, типу кодеків, схем маскування помилок, періоду дослідження й форми відеокadra, у результаті якого доведено вплив різної реалізації кодеків на якість переданого відео з залежністю від різного рівня втрат і розміру відеокadra. Уст новлене, що одним з домінуючих факторів при оцінці якості переданого відео є кількість згублених пакетів.

Наступна точна оцінка якості також впливають специфічні параметри відео, такі як спосіб пакетизації, розмір відеокadra, схеми маскування помилок, які залежно від конфігурації кодеків по-різному реагують на одинковий рівень втрат. Запропоновано використання коефіцієнта, що дозволяє відібрати зв'язок суб'єктивних і об'єктивних оцінок якості переданого відео, що й урховує характеристики відеопотоку при оцінці викривлень, що виникають при втраті окремих блоків відеокadra. Розроблено імітаційну модель фрагменту мережі, на якій потоком різнотипного трафіку, що дозволяє проводити дослідження, націлені на оцінку параметру Херста при різних умовах роботи мережі. Визначений склад факторів, що впливають на процес оцінки ступеня схожості агрегированного потоку. Уст новлене, що при моделюванні залежності параметру Херста від рівня втрат додано до відеопотоків трафік зі змінною швидкістю не впливає на значення параметру Херста ж до номінально високого рівня втрат в 95 %. У той же час, додано

до потоків відеотрафіку потоку з постійною швидкістю, наприклад, трафіку мови, при досить невеликих швидкостях приводить до значимої зміни параметру Херста. Визначено, що розмір пакетів досліджуваного потоку впливає на значення параметру Херста для всього агрегированного потоку. Також оцінку ступеня схожості впливає довжина черги у вузлі й крок збільшення швидкості потоку. Запропонований метод об'єктивної оцінки якості сприйняття відео на основі виявленого зв'язку шляхом виміру параметру Херста.

Список літератури: 1. Рекомендация ITU-T Y.1910. Функциональная архитектура IPTV: – 2008. 2. Пескин, А. Е. Сетевое вещательное телевидение, стандарты и системы // А. Е. Пескин, В. Ф. Труфанов. – М.: Гряч линия – Телекому, 2004. – 310 с. 3. RFC 2236. Протокол Internet Group Management Protocol, Icmpv2. – 1997. 4. Recommendation Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. ITU-T. – 2009, November. 5. Вегешин, Ш. Якість обслуговування в мережах IP // Ш. Вегешин. – М.: Видничий будинок «Вільямс», 2013. – 368 с. 6. Кожнев, Ю. Ф. Интерфейсы и протоколы сетей следующего поколения / Ю. Ф. Кожнев. – СПб.: Альфа рет. 2016. – 218 с. 7. Рекомендация ITU-R BT.500-13. Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений. – 01/2012.

Resume

A.I. Dimitrenko, A.A. Suprun, A.A. Usoltsev.
ANALYSIS OF THE OBJECTIVE ESTIMATION
MODEL OF THE TRANSMISSION QUALITY OF
VIDEO STREAMS IN IP-NETWORKS

Background: Development and study of a model for assessing the quality of the transmission and quality of video perception in IP networks, analyzing existing methods for assessing the quality of the video stream in IPTV, developing a model for assessing the quality of video transmission over IP networks, taking into account network characteristics and parameters specific to video applications and various codecs, the analysis of traffic of various applications in IP-oriented multi-service networks, taking into account the self-similarity properties, the development of a method of objective evaluation of the quality of video perception based on the identification of the interrelationships between and subjective assessment value and Hurst parameter.

Materials and methods: This work uses statistical methods of analyzing the normalized span or R/S statistics, also the recommended metrics: MDI, VQM, MPQM, NQM.

Results: A mathematical model is developed that allows estimating the quality of video transmission and can be used in existing IP-networks. The simulation was performed depending on different loss levels, such as the codec, the error masking scheme, the research period and the video frame format, which resulted in the effect of different codec implementations on the quality of the transmitted video, depending on the different level of loss and the size of the video frames. The use of the coefficient is suggested, it allows reflecting the interrelation between subjective and objective estimates of the quality of video transmission, which takes into account the characteristics of the video stream when estimating the distortions that occur during the loss of individual video frame blocks. A method is proposed for an objective estimation of the quality of video perception based on the measurement of the Hurst parameter.

Conclusion: The article investigates the influence of specific video flow characteristics on subjective and objective estimates of the quality of video streams. The developed simulation model of a network fragment loaded with flows of different types of traffic makes it possible to carry out studies aimed at evaluating the Hurst parameter under various network conditions. The composition of the factors influencing the process of estimating the degree of self-similarity of the aggregated flow is determined.

Ндійшло до редакції 22.09.2017

УДК 681.5 + 659.11



М.А. Омров, Т.В. Тих

ХНУРЕ, м. Хрків, Україна, murad.omarov@nure.ua;

ХНУРЕ, м. Хрків, Україна, tetiana.tykha@nure.ua

ЛЕНДІНГ – ЙОГО АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

Обґрунтовується доцільність та актуальність теоретичних досліджень в галузі інтернет-маркетингу, зокрема при проведенні інтернет-маркетингових кампаній. Аналізується використання лендінгу (landing page) у сучасному інтернет-маркетинзі, визначаються властивості посадкових сторінок та їх обмеження. Досліджується сприйняття посадкової сторінки. Ндається огляд методів розробки посадкових сторінок. Розглядається доцільність використання лендінгу при проведенні інтернет-маркетингових кампаній та критерії, з котрими вони визначаються.

ІНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГ, ЛЕНДІНГ, ПОСАДКОВА СТОРІНКА, ВИКОРИСТАННЯ ЛЕНДІНГУ, КОНВЕРСІЯ В ПОКУПЦЯ, СПРИЙНЯТТЯ СТОРІНКИ САЙТУ

Омров М.А., Тих Т.В. Лендинг – его анализ и моделирование. Обосновывается целесообразность и актуальность теоретических исследований в области интернет-маркетинга, в частности при проведении интернет-маркетинговых кампаний. Анализируется использование лендинга (landing page) в современном интернет-маркетинге, определяются свойства посадочных страниц и их ограничения. Исследуется восприятие посадочной страницы. Предоставляется обзор методов разработки посадочных страниц. Рассматривается целесообразность использования лендинга при проведении интернет-маркетинговых кампаний и критерии, по которым он определяется.

ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГ, ЛЭНДИНГ, ПОСАДОЧНАЯ СТРАНИЦА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЭНДИНГА, КОНВЕРСИЯ В ПОКУПАТЕЛЯ, ВОСПРИЯТИЕ СТРАНИЦЫ САЙТА

Omarov M.A., Tykha T.V. Landing — analysis and modeling. The expediency and relevance of theoretical research in the field of Internet marketing, in particular, during Internet marketing campaigns, is substantiated. The use of landing page in modern internet marketing is analyzed, the properties of landing pages and their limitations are determined. The perception of the landing page is studied. An overview of landing page development methods is provided. The expediency of using landing in the conduct of Internet marketing campaigns is considered. The criteria of expediency is determined.

INTERNET MARKETING, LANDING, LANDING PAGE, LANDING USE, CONVERSION INTO BUYER, ADOPTION OF PAGES OF THE SITE

Вступ

Інтернет-маркетинг є однією зі складових сучасних ІТ-технологій, що використовує методи класичного маркетингу для ведення маркетингової діяльності у Інтернеті. Класичний маркетинг розглядають як систему знань, що напроваджує вплив споживчим попитом з позицій виробників товарів та постачальників послуг. Інтернет-маркетинг стрімко розвивається як практична діяльність та як теорія. Інтернет-маркетинг використовує методи традиційного (класичного) маркетингу та розвиває свої власні методи, що базуються на можливостях та специфіці інформаційних технологій, які використовуються в Інтернеті. Ринок Інтернет-реклами зростає значно швидше, ніж інші сектори ринку реклами – телереклама, радіореклами, реклами у засобах масової інформації.

Одним з інструментів Інтернет-маркетингу є лендінг. Термін «лендінг» впевнено увійшов в обіг у середовищі Інтернет-маркетологів. Цей термін походить від англійського *Landing page*, який можна перекласти як «посадкова сторінка». З визначенням Литовченко В.І. [1] «це з вершньої сторінки воронки продажів, тобто кожної веб-сторінки, як відкривається при натисканні на рекламне оголошення чи лінку (лінк). «Цільова сторінка» є

логічним продовженням рекламного оголошення або посилання».

Як видно із цього терміну *Landing page* та кожний переклад його як «цільова сторінка», що більш детально характеризує його значення в Інтернет-маркетинзі.

Здається, аналіз лендінгу, як інструмент сучасного інтернет-маркетингу, є актуальною через активне використання лендінгу у практиці та через відсутність одностайної оцінки цього інструменту.

Метою цього дослідження є визначення умов, коли використання лендінгу є доцільним при організації та проведенні інтернет-маркетингових кампаній, та кожний проаналізувати властивості посадкової сторінки, що впливають на її ефективність, та кожний сформулювати критерії з якими можна передбачити ефективність посадкової сторінки. Цю мету планується досягнути як розв'язання наступних завдань:

— проаналізувати використання лендінгу у сучасному Інтернет-маркетингу;

— визначити які властивості повинні мати посадкові сторінки;

— сформулювати критерії для прийняття рішення з використання лендінгу при плануванні конкретної Інтернет-кампанії.

1. Аналіз використання лендінгу у сучасному інтернет-маркетинзі

Як вже було зазначено, посвідкові сторінки активно використовуються у сучасному Інтернеті. Посвідкові сторінки спонукають користувачів виконати якусь дію, наприклад, купити товар, замовити номер у готелі, підписатися на отримання інформаційних листів і т.п.. Користувачі Інтернету постійно бачать контекстну рекламу на сторінках, які вони відвідують. Наприклад, користувач хоче узяти прогноз погоди, бо результати спортивних змагань. Сторінка, яку він потрапить, скоріш за все, буде містити рекламу місць, де розміщені рекламні оголошення, через те, що розміщення реклами це механізм фінансування тих сайтів, які прогноз погоди бо спортивний сайт. Переважно цих рекламних оголошень це посилання (лінки - *links*) на посвідкові сторінки.

Автор ми у [2] було не ведено розбиття Інтернету на сектори (B2B, G2C, G2B і т.п.) з оглядкою «власник сайту» – «відвідувач» і показує, що найбільш ємними ділянками для інтернет-маркетингу є сектори B2B (business-to-business) та B2C (business-to-customers). Саме відносини «бізнес-бізнес» та «бізнес-клієнт» є основною нішею для інтернет-маркетингу, як і для традиційного маркетингу взагалі. Навіть стіше лендінг використовується у секторі B2C, бо саме в цьому секторі Інтернету відбувається переважно кількість фінансових обороток. Тобто це оборотки типу продаж товарів через інтернет-магазин бо інтернет-вітрину, з мовлення усіляких послуг і тому подібне. Учасники інших секторів (B2B, G2B) виконують, звичайно, фінансові оборотки поза Інтернетом через їх складність та необхідність. Головна мета лендінгу – конверсія, тобто перетворення відвідувача посвідкової сторінки у покупця, щоб він став учасником ланцюжка «товар–гроші» (рис.1).



Рис. 1. Ланцюжок «товар–гроші»

Власники сайту, в рекламних місцях, де розміщені лінки на посвідкові сторінки, є одними з учасників фінансового ланцюжка «товар–гроші». Головними учасниками цього ланцюжка безумовно є власник товару (підприємець) і споживач (клієнт). Сучасний бізнес ускладнився і тому для створення цього ланцюжка використовуються різні методи. Інструмент лендінгу є ефективним засобом формування того ланцюжка, але він має свої нішу та обмеження.

Таким чином, лендінг, як інструмент інтернет-маркетингу використовується переважно у секторі B2C з метою конверсії відвідувача сайту у клієнта (покупця). У інших секторах Інтернету лендінг використовується, переважно, у спробі перетворити відвідувача сайту у потенційного клієнта, з подальшою взаємодією поза посвідковою сторінкою (листівня, телефонія, особисті зустрічі і т.п.).

2. Аналіз вимог до посвідкової сторінки

Як відомо, маркетингова діяльність спрямована на підвищення конкурентоспроможності власника бізнесу. У підвищенні конкурентоспроможності бізнесу є багато шляхів. Один з них це з'ясування довгострокової інтернет-маркетингової кампанії, що включено в себе створення максимально ефективного (привабливого, швидкого, функціонального повного і т.п.) інтернет-ресурсу з допомогою якого потенційний споживач може задовольнити свої потреби – придбати товар, отримати інформацію про послуги і т.п. Наступним кроком є розміщення інформації про інтернет-ресурс на рекламних місцях відповідних сайтів (довідкові сайти, сайти новин, інші сайти з високим рейтингом). Дуже важливим є просування інтернет-ресурсу у рейтинг пошукових сайтів. В Україні найбільш популярним пошуковим сайтом є Google.ua. Також доцільним є розробка мережі партнерських сайтів – сайтів, що містять статті, фото, відео про різні спекти пов'язані з тематикою продукції власника бізнесу та використовувати їх як рекламні місця свого інтернет-ресурсу. Основним інтернет-маркетингом характеризується стрімким зростанням використання соціальних мереж. Тому дуже важливо створити власні сторінки та кола друзів у різних соціальних мережах. Це дозволить робити посилання на позитивні відгуки та здійснені послуги та оперативно реагувати на негативні відгуки – з'ясувати причини цих відгуків і, у випадку їх об'єктивності, намагатися усунути відповідні причини, бо не слідки. Для великих компаній взаємодія з соціальними мережами перетворилася у постійний процес до якого залучені фахівці з public relations.

Дослідники у галузі психології інтернет-покупців [3] зазначають, що «основними прийомами збільшення продажів для інтернет-магазинів є вплив на емоційну сферу потенційних покупців. Сучасний маркетинг, в першу чергу, використовує мимовільну реакцію мозку на різні психологічні прийоми». І далі [3] наводить декілька таких прийомів.

Перед маркетингоми ставиться задача утримання уваги відвідувачів сайту, надати їм інформацію про переваги продуктів або послуг, та кож сформулювати у них інтерес до таких дій:

- можливість придбати з пропонуваного товару або послугу;
- залишити з'явку на з'явлення товару або послуги;
- зареєструватися або підписатися на розсилання.

Виходячи з того, що мета (місія) посвідкової сторінки це конверсія відвідувача у покупця, сформулюємо, які властивості повинні мати такі сторінки. Перш і головна властивість такої сторінки – не відлякати потенційного клієнта. Тобто оформлення сторінки повинно бути таким, щоб у відвідувача не виникло бажання критикувати сторінку, бо з критикою сторінки означає що місія сторінки провалена і мета не досягнута. Це не кладає вимоги на стилістику та

структуру сторінки. Н основі зн нь з психології [4] т пр ктики Інтернет-м ркетингу можн вк з ти н т ківл стивості пос дкової сторінки:

– сторінк повинн бути оформлен у з спокій-ливих тон х;

– м ти невелике інформ ційне н в нт ження (якомог менше тексту);

– ілюстр ційне дублюв ння – по можливості текст дублюв ти з допомогою обр зного ст тичного м люнку бо фото;

– відсутність н сторінці постійної нім ції (к-тивов ного відео, рот торів і т.п.), будь як нім -ція тільки як ре кція н дії користув ч ;

– містити с моїдентифік цію, н прикл д н зву фірми бо комп нії – відвідув ч м є розуміти з ким м є спр ву;

– з клик до дії т відсутність вибору при при-йнятті рішення, тобто тільки одн кнопк з н -звою дії, як очікується від відвідув ч , н прикл д «КУПИТИ», «ЗАКАЗАТИ», «ПІДПИСАТИСЬ» і т.п.;

– чесність – дотрим ння обіцянок, що були д ні відвідув чу до потр пляння н пос дкову сторінку. Тобто якщо відвідув ч потр пив н пос дкову сто-рінку через посил ння н б нері н якому бул обі-цянк скидки н тов р бо поз черговість з писи н прийом ф хівця, то необхідно, у р зі конверсії, дотримув тись цих обіцянок;

– «демонстр ція духу корпор ції» – не обов'я-зковий, ле б ж ний елемент, що у вигляді слог -н , який формулює девіз корпор ції, н прикл д, «Інтернет кожному», « втомобіль не розкіш, обр з життя» бо універс льне – «клієнт з вжди пр вий».

Тепер розглянемо структуру пос дкової сторін-ки н прикл ді с йту комп нії Wix [5] (рис. 2).

Ця сторінк містить н ступні елементи:

– с моїдентифік цію, у д ному вип дку це н -зв к мп нії (Wix), що розт шов н у лівому верх-ньому куті сторінки; – «демонстр цію духу корпо-р ції» – це слог н «It All Starts with Your Stunning Website», який можн перекл сти як «Все почин -ється з В шого приголомшливого веб-с йту»;

– ілюстр тивне дублюв ння, у д ному вип дку конструктор с йтів, яке можн сформулюв ти як «Людин н тлі р нкового міст »;

– стислий опис продукту («Wix unites beauty and advanced technology to create your stunning website. It's easy and free. « – «Wix об'єднує кр су т суч сні технології для створення приголомшливого веб-с йту. Це легко і безкоштовно. «);

– з клик до дії («Start now» – «Почни з р з»), с ме до створення веб-с йту і прямо з р з.

Ця сторінк відповід є з зн ченим вище ви-мог м. Постійн нім ція відсутня. Анім ція ви-ник є лише при н ведені курсору миші н кнопки «Созд ть с йт» т «Войти».

Про н лізуємо типове сприйняття цієї сторін-ки (рис. 2). Це сприйняття поділяється н свідоме і підсвідоме. З психології [6] відомо, що підсвідоме сприйняття формується долі секунди і вплив є н свідоме сприйняття. Якщо н підсвідомому рівні буде сформов не відторгнення сторінки, то тільки як сь дод тков мотив ція буде спонук ти відвід-ув ч з лишитись н сторінці.

Н першому кроці, коли формується підсві-доме сприйняття, сторінк н веден н рис. 2 не виклик є відторгнення, бо вон викон н у не гресивному стилі. Фоновий м люнок сторінки м є пл вний перехід у «холодних» кольор х, які не виклик ють у людини роздр тув ння.

Н н ступному кроці почин є формув тись свідоме сприйняття. З звич й людин почин є сприйм ти текстову інформ цію що м є н йбіль-ший шрифт і розміщену у середині бо у верхній ч стині сторінці. Н рис. 2 н йбільшим шрифтом н д но слог н який центров ний по горизонт лі і розт шов ний трохи вище середини екр ну. Тому, скоріш з все, відвідув ч споч тку прочит є слог н.

Люди м ють різну швидкість чит ння. Н думку вторів у д ному вип дку люди з високою швидкіс-тю чит ння (з звич й це люди з вищою освітою) прочит ють слог н як єдине висловлюв ння без внутрішнього приговорюв ння. Люди з повіль-ною швидкістю чит ння сприймуть цей слог н як

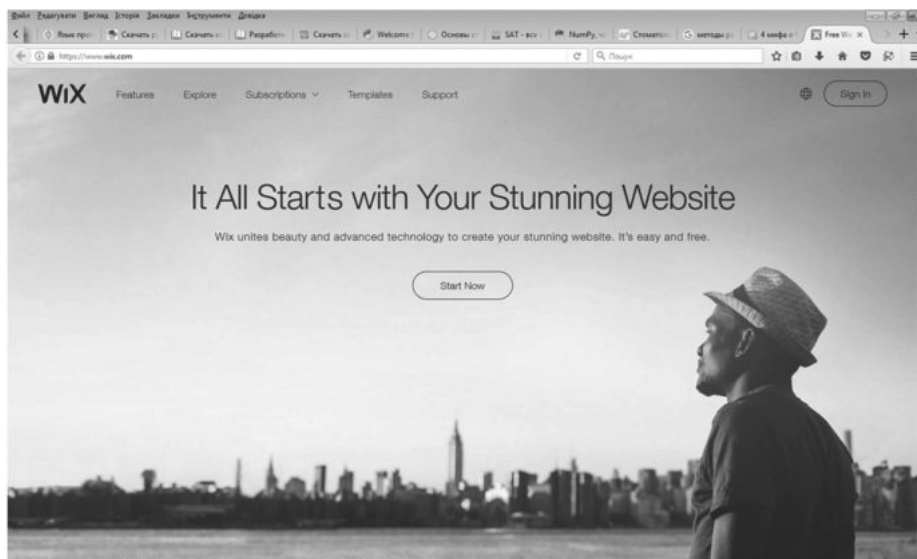


Рис. 2. Прикл д пос дкової сторінки

сукупність двох двослівних словосполучень поєднаних союзом, можливо з тривимовим сприйняттям слів «великолепного». Саме це слово трохи ускладнює сприйняття слогану.

Після усвідомлення сенсу слогану людини, скоріш за все, з ним погодиться сформулювати відповідну оцінку нашіт «м'який».

Другим кроком свідомого сприйняття буде звертання уваги на кнопку «Start now», тому що вона розташована так, щоб навколо неї було вільного місця, щоб навколо неї писати робить цю кнопку другим з розміром об'єктом.

Послідовність наступних кроків свідомого сприйняття сторінки не є такою очевидною як перші два кроки. Але після цих двох кроків виконати дуже вживачистий місії – у відповідь не виникло відторгнення сторінки і почалося формування зціквленості через сприйняття двох факторів:

– перше, відповідь скоріш за все зціквив слоган;

– друге, відповідь усвідомив, що він може створити це прямо зручності безкоштовно.

Власне кажучи перше враження вже сформулювалося і воно, скоріш за все, позитивне. Подальші дії відповідь залежать від багатьох факторів, на яких вторинно відкриваються потім.

У якості ще одного налізу посвідкової сторінки приведемо наліз ведений на сайт <http://rusfusion.ru> [6] (рис. 3).



Рис. 3. Приклад структури посвідкової сторінки

Автор цього налізу формує наступні тези, яких необхідно дотримуватися при створенні посвідкової сторінки [6]:

– «не залишайте вибору» – ви повинні чітко сформулювати вимогу для відповідь сторінки, тобто що від нього очікується;

– «будьте чесними» – налізуйте з яким посланням прийшов відповідь, якими обіцянками його змінили на цю сторінку;

– «позачте з кліком до дії» не перевантажуйте сторінку з йогою інформацією – з кліком до дії має бути максимально зрозумілим;

– «максимально збільшить довіру» розмістіть логотипи ваших клієнтів або партнерів, які, на вашу думку, підвищують довіру до вашої компанії;

– «намагайтеся використовувати мінімум слів» вербальна інформація сприймається клієнтом довше ніж візуальна;

– «зведіть до мінімуму всі візуальні подробиці» німація, різнокольорові тексти відволікають від сприйняття основної ідеї посвідкової сторінки.

Підсумовуючи ці тези вторинно <http://rusfusion.ru> [6] робить висновок «чим зрозуміліше сторінка для клієнта, тим менше він його дотує, тим більше шансу того, що він виконає ту дію, якої Ви від нього вимагаєте».

Автори цілком згодні з тезою викладеною у [6]. А основною тезою можна розширити, додавши ще звукові подробиці, бо з власного досвіду знають, що несподіванково не звукове супроводження сторінки інколи дуже дотує і виклик є більш ніж з критичною сторінкою навіть не проглядаючи її.

Таким чином, вторинно вважають, що посвідковий сторінка повинен мати чіткість (упорядкованість вживистю):

– не дотуєти, тобто мати з спокійливий стиль оформлення (дизайн);

– максимально скорочене інформування про пропозицію;

– наявність з кліку до дії і безальтернативність цієї дії;

– дублювання пропозиції у нетекстовому форматі (обрання подання пропозиції);

– самоідентифікація;

– чесність;

– наявність тільки важливої необхідної інформації.

3. Розробка посвідкової сторінки

При розробці посвідкової сторінки можна скористатися різними методами.

Розглянемо метод персоніфікації. Головне правило, для створення сторінки що продає, це формування торгової пропозиції виходячи з потреб користувача, з визначення його потреб, незалежно від того, що ви можете і готові продати. Метод персоніфікації полягає в тому, щоб знайти підхід до кожного клієнта, і зрозуміти, що конкретно йому необхідно. Цей метод допоможе правильно сегментувати цільову аудиторію і визначити основні потреби. Визначивши аудиторію, ви отримаєте кілька різних персоніфікацій з унікальними потребами, з різними інтересами і абсолютно різними пропозиціями.

Метод «принципу послідовності» [7] пропонує алгоритм покрокового створення посвідкової сторінки. Відміну від методу персоніфікації метод «принципу послідовності» розпочинається з визначення з'ясування якого клієнт хоче отримати продукт (послугу). Тобто з мовників лендінгу обирає собі цільову аудиторію – інше кажучи визначає які потреби (бажання) повинні мати клієнти, і вже виходячи з цього формує посвідкову сторінку.

4. Доцільність створення посадкової сторінки

Доцільність створення посадкової сторінки залежить від кількох факторів. Як було зазначено вище, створення посадкової сторінки для секторів B2B, G2B, B2G не є характерним явищем. В цих секторах посадкові сторінки доцільно створювати у випадку наявності потенційних клієнтів і якщо з метою передстарторінкою створити злучення потенційних клієнтів до прямих переговорів. У зазначених секторах індикаторами перевантаження є інші засоби ведення бізнесу, що не концентруються на Інтернет-технологіях.

У секторі B2C діють такі фактори:

- необхідність підвищити кількість пропозицій (товару, послуг і т.п.);
- потенційна можливість подання пропозиції як посадкової сторінки;
- наявність позитивного досвіду використання лендінгу для подібних пропозицій, власного або у конкурентів;
- бізнес-план впровадження лендінгу обіцяє прибутковість;
- у даній сфері відсутній досвід з стосування лендінгу.

Критерії зі прийняття рішення про використання лендінгу у секторі B2C можна сформулювати наступним чином:

- якщо хоч б один із перелічених факторів присутній і ресурси впровадження лендінгу не є критичними, то автори рекомендують впровадити лендінг;
- якщо вжити впровадження лендінгу є критичними, то обов'язковим є прибутковість бізнес-плану і ще хоч б одного із зазначених факторів.

У будь-якому випадку автори цього дослідження не беруть на себе фінансової відповідальності з результату впровадження лендінгу.

У даній частині автори пропонують найбільш детальною моделлю прийняття рішення про впровадження лендінгу для власників малого та середнього бізнесу у галузі медичних послуг із злученням інформаційної технології пошуку логічних помилок в текстових описах розглянутих процесів [8].

Висновки

У дослідженні розглянуто лендінг як інструмент сучасного інтернет-маркетингу. На основі розбиття користувачів Інтернету на сектори, пок за наявності яких сектор використовується лендінг і виведено причини цього. Виконано аналіз структури посадкових сторінок, визначено які властивості повинні мати посадкові сторінки, сформульовано критерії для прийняття рішення з використання лендінгу.

Авторами ведеться науково-дослідна робота з аналізу та моделювання сучасного інтернет-маркетингу, метою якої є розробка методів та моделей, що дозволять розробити об'єктивні критерії оцінки ефективності інтернет-маркетингових кампаній, та допомогти у їх організації, проведенні і аналізі.

Список літератури: 1. Литовченко І.Л. Інтернет-маркетинг / І.Л. Литовченко – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 332 с. 2. Омаров М.А., Тих Т.В. Аналіз та моделювання

інтернет-маркетингу // Вісник НТУ «ХПІ». 2016. № 37 (1209) – С. 67-72. 3. *Психологические приемы продаж через Интернет: что нужно учитывать?* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://witget.com/blog/psixologicheskiepriemy-prodazh-cherez-internet-chto-nado-uchityvat/> – Дата звертання: 18 вересня 2017. 4. Члдині Р. Психологія впливу «Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», 2017, ISBN 978-617-12-3352-2, с. 352. 5. *Free Website Builder | Create a Free Website | Wix.com*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://wix.com/> – Дата звертання: 18 вересня 2017. 6. *Посадочные страницы (Landing page)* [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://rusfusion.ru/articles.php?article_id=103 – Дата звертання: 18 вересня 2017. 7. *Пошаговый алгоритм создания Landing Page (посадочных страниц)* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=EIhtO-GWbvk> – Дата звертання: 14 листопада 2017. 8. Hutsa, O. Development of the information technology for checking textual procedures for logical coherence and completeness [Text] / Oleh Hutsa, Nataliya Igumentseva, Nina Dovgopol, Sofiia Yakubovska / Eastern-european Journal of Enterprise Technologies, Vol.5, No 2(89) 2017 – p. 55-64.

Resume

МА. Omarov, T.V. Tykha

LANDING — ANALYSIS AND MODELING

Background: Internet marketing is the development of classical marketing, which uses the capabilities of modern information technology in organizing, conducting and analyzing the results of Internet marketing campaigns. Internet marketing is rapidly developing as a practical activity and as a theory. Internet marketing uses traditional (classical) marketing methods and develops its own methods based on the capabilities and specificities of information technology used on the Internet. The Internet advertising market is growing much faster than other sectors of the advertising market - TV advertising, radio advertising, advertising in magazines and newspapers, and the like. One of the tools of Internet marketing is the landing. The task of the analysis of the landing as an instrument of modern Internet marketing is actual due to the active use of the landing in practice and due to the lack of a generally accepted assessment of this tool, i.e. the opinion about this tool is in the formation stage.

Materials and methods: The paper uses methods of analysis of human perception of information presented on the landing page - visual, textual, and sound. The results of this analysis are used to evaluate the effectiveness of landing pages for human decision-making. In addition, the work uses the division of Internet users and site owners into classes (classification of Internet users).

Results: The work analyzes for which segments of the Internet is used the leasing. The work also shows how the design of the landing page affects the formation of the visitor's opinion of the site, namely, showing what properties should have landing page to achieve the task of the landing — turning page visitors into the client. Also, the factors of the expediency of using a landing are analyzed. To them, in the Internet sector B2C, relate: the need to increase the number of sales proposals (goods, services, etc.); the potential opportunity to submit a proposal as a landing page; the presence of a positive experience of using a layout for such offers, own or with competitors; The business plan for implementing the layout promises profitability. And the last of the factors — in this area there is no experience of application of a landing.

Conclusion: The criteria for deciding whether or not to use the leasing are reasonable are the criteria formulated in the work - if the costs for the introduction of the landing are not critical and there is clearly at least one of the factors of the advisability of the implementation of the landing, then it is recommended to introduce the landing. In the event that the costs for the introduction of the landing are critical, then the mandatory condition for the profitability of the business plan and the presence of at least one factor of the expediency of the introduction of the landing should be put into the obligatory condition. Also in the work is formulated a list of properties of the landing page influencing the achievement of the goal of Internet marketing campaigns.

Надійшло до редколегії 27.09.2017

УДК 681.518:37.013.32:512.816



М.А.Омаров, Р.И.Цехмистро, В.Х.Муродов

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, murad.omarov@nure.ua;

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, 1970ts@rambler.ru

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, viusalia.muradova@nure.ua

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Рассмотрен подход к способам создания экспертных оценок для определения уровня знаний студентов дистанционной формы обучения путем использования вероятностного подхода на основе Байесовских процессов в сравнении с подходом на основе теории нечетких множеств. Применен метод экспертного оценивания с матричным представлением исходных данных для области дистанционного образования.

ДИСТАНЦИОННОЕ ФОРМА ОБУЧЕНИЕ, БАЙЕСОВСКАЯ ОЦЕНКА, ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА, ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА, НЕЧЕТКОЕ МНОЖЕСТВО.

Омаров М.А., Цехмистро Р.И., Муродов В.Х. Використовування теорії нечітких множин для створення інформаційної системи оцінювання знань студентів дистанційної форми навчання для технічних спеціальностей. У статті розглядається підхід до способів створення експертних оцінок для визначення рівня знань студентів дистанційної форми навчання шляхом використання імовірнісного підходу на основі байєсівського процесів в порівнянні з підходом на основі теорії нечітких множин. Застосовано метод експертного оцінювання з матричним представленням вихідних даних для області дистанційної освіти.

ДИСТАНЦІЙНА ФОРМА НАВЧАННЯ, БАЙЄСІВСЬКА ОЦІНКА, ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА, ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА, НЕЧІТКА МНОЖИНА

Omarov M.A., Tsekhmistro R.I., Muradova V.X. Use of the theory of fuzzy sets for the problem of creation of information system of estimation of knowledge of students remote forms of training for technical specialties. The article considers the approach to the methods of creating expert assessments for determining the level of knowledge of students of distance learning by using the probabilistic approach based on Bayesian processes in comparison with the approach based on the theory of fuzzy sets. The method of expert estimation with a matrix representation of initial data for the field of distance education is applied.

REMOTE FORM TRAINING, BAJESOVSKAYA ESTSENKA, EXPERT SYSTEM, EXPERT EVALUATION, FUZZY SET.

Введение

Проблема выбора контроля обучения является актуальной, ей посвящено немалое количество работ. Связанные с поиском технических средств обучения, так и моделированием процесса обучения [1]. Одной из проблем при построении эффективных диагностических (экспертных) систем является необходимость учета большого количества различных параметров и их согласование между собой.

Традиционная архитектура экспертной системы включает в себя базу данных, базу знаний и решающий модуль. Решающий модуль, используя исходные данные из рабочей памяти и знания из базы знаний, формирует текущую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи. Выбор и создание последовательности правил составляет одну из главных проблем построения учебных экспертных систем. Эти проблемы непосредственно связаны с созданием и эффективным использованием баз данных из которых берутся исходные данные для выбора и применения того или иного правила. Правила представляют собой

один или несколько алгоритмов, моделирующих процесс оценивания знаний студентов дистанционной формы обучения.

Одним из применений построения экспертных систем является использование Байесовских сетей доверия в сравнении с использованием теории нечеткой логики. Это приобретает особую актуальность в связи с необходимостью эффективного поиска информации в базах данных, что в некоторой степени используется в алгоритмах моделирующих процессы диагностики. Например, возникает важный вопрос, какой метод (сети Байеса или нечетких множеств по Мидну) предъявляет менее жесткие требования к completeness баз данных так и к их поиску без потери эффективности. Использование реляционных баз данных позволяет использовать язык SQL-запросов, который на современных компьютерах получает практически мгновенные данные из множества таблиц, содержащих большое количество символьной, так и числовой информации. Системы подобные MySQL позволяют еще и проводить вычисления в таблицах используя встроенный язык программирования. Однако подобные средства рзрботки

(Oracle, MySQL и т.д.) созданы исключительно для рботы с бзми днными и непригодны для построения экспертных систем. Анализ существующих подходов к проектированию бзми дных укзывает большие возможности объектно-реляционных бзми дных, в которых используется язык объектно-ориентированного программирования, в сочетании с технологией SQL.

Однако создание реальных экспертных систем, несмотря на имеющийся прогресс в области проектирования бзми дных, по-прежнему сопряжено с трудностями, связанными с визуализацией полученных результатов (применимости) так и с необходимостью привлечения квалифицированных рзботчиков и экспертов.

Следовательно, рзботкой конкретной учебной экспертной системы под конкретное знание необходимо с точки зрения программирования и чинть с методов моделирования текущих знаний.

В оценке состояния студента для принятия решений, связанных с выбором дальнейшей тактики обучения, в значущую информацию для преподавателя входят субъективные факторы знаний.

Сложность объективной оценки перечисленных факторов является причиной использования методов, ориентированных на построение моделей, учитывающих неточность исходных данных. Именно в таких случаях применение метатеоретического подхода к нечетким множествам (НМ) является наиболее эффективным.

Целью исследования является разработка рекомендаций для рзботки метатеоретической модели поддержки принятия решений, связанных с оценкой студента и принятия решений относительно дальнейшей стратегии обучения.

Выработка практических рекомендаций для построения экспертной системы оценки знаний студента на основе баз знаний и алгоритмов теории нечетких множеств путем анализа баз знаний.

1. Постановка задачи

В рамках задачи оценки знаний студента в качестве лингвистических переменных используются качественные показатели: оценка посещаемости (использования) информационного ресурса (например MOODLE), оценка выполненных заданий индивидуально, оценка тестовых заданий, оценка результатов собеседования с преподавателем в on-line режиме, оценка выполнения курсовых или расчетно-графических заданий.

1. Лингвистическая переменная «оценки регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE)» представлена как:

$$\langle a_1, S, X_1, G_1, M_1 \rangle,$$

где a_1 – использование информационных ресурсов; $S = \{ \text{«Сежедневная-ежедневная посещаемость (В,А), Сзнч.-знчительная посещаемость Ех ≠ С; Средняя-средняя посещаемость (Е); Смля-мля посещаемость (Fх)»} \}$; $X_1 = [0, 30]$ – количество

термов (элементов множеств) и пример, количество скченных примеров (здесь), просмотренных видео уроков; G_1 – процедура обработки новых термов с помощью логических связок «И», «ИЛИ» и модификаторов типа «очень», «НЕ», «слегка» и др.; M_1 – процедур семантические правила «правильности», задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G_1 .

2. Лингвистическая переменная «оценка выполненных заданий индивидуально» представлена как:

$$\langle a_2, K, X_2, G_2, M_2 \rangle,$$

где a_2 – оценка выполненных заданий; $K = \{ \text{«Котлично-В,А», «Кхорошо-С,В» Кудовл – Ек, Fх} \}$, 0-отсутствует правильное выполнение задания; $X_2 = [0, 18]$ – количество термов (элементов множеств); G_2 – процедура обработки новых термов с помощью логических связок «И», «ИЛИ» и модификаторов типа «очень», «НЕ», «слегка» и др.; M_2 – процедур семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G_2 .

3. Лингвистическая переменная «оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме» представлена как:

$$\langle a_3, C, X_3, G_3, M_3 \rangle,$$

где a_3 – оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме; $T_3 = \{ \text{«Сотлично-здание выполнено отлично», «Схорошо-здание выполнено хорошо», Судовл – задание выполнено удовлетворительно»} \}$; $X_3 = [0, 20]$ – количество термов (элементов множеств); G_3 – процедура обработки новых термов с помощью логических связок «И», «ИЛИ» и модификаторов типа «очень», «НЕ», «слегка» и др.; M_3 – процедур семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G_3 .

4. Лингвистическая переменная «оценка результатов собеседования с преподавателем в on-line режиме» представлена как:

$$\langle a_4, T_4, X_4, G_4, M_4 \rangle,$$

где a_4 – степень знания студента во время проведения лекций в on-line режиме; $C = \{ \text{«степень знания хорошее», «степень знания среднее», «степень знания плохое»} \}$; $X_4 = [0, 10]$; G_4 – процедура обработки новых термов с помощью логических связок «И», «ИЛИ» и модификаторов типа «очень», «НЕ», «слегка» и др.; M_4 – процедура логична M_4 для правил M_4 .

Нечеткая база знаний, представляющая совокупности лингвистических высказываний имеет вид:

$$\mu(a1, a2, a3, S, K, C) = \begin{cases} Q_{удовл} \text{ if } ((0 < a1 \leq S_{\text{ежедневно}}) \text{ and } (0 < a2 \leq K_{\text{отлично}}) \\ \text{and } (0 < a3 \leq C_{\text{отлично}})) \\ \text{or } ((S_{\text{ежедневно}} < a1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (0 < a2 \leq K_{\text{отлично}}) \\ \text{and } (C_{\text{отлично}} < a3 \leq C_{\text{хорошо}})) \\ Q_{\text{приемлем}} \text{ if } ((S_{\text{ежедневно}} < a1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (K_{\text{отлично}} < a2 \leq K_{\text{хорошо}}) \\ \text{and } (C_{\text{отлично}} < a3 \leq C_{\text{хорошо}})) \\ Q_{\text{сред}} \text{ if } ((0 < a1 \leq S_{\text{ежедневно}}) \text{ and } (K_{\text{отлично}} < a2 \leq K_{\text{хорошо}}) \\ \text{and } (C_{\text{отлично}} < a3 \leq C_{\text{хорошо}})) \\ Q_{\text{хорошо}} \text{ if } (S_{\text{ежедневно}} < a1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (K_{\text{отлично}} < a2 \leq K_{\text{хорошо}}) \\ \text{and } (C_{\text{хорошо}} < a3 \leq C_{\text{удовл}})) \\ \text{or } ((S_{\text{ежедневно}} < a1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (K_{\text{хорошо}} < a2 \leq K_{\text{удовл}}) \text{ and } \\ (C_{\text{хорошо}} < a3 \leq C_{\text{удовл}})) \\ \text{or } ((S_{\text{сред}} < a1 \leq S_{\text{зн ч}}) \text{ and } ((K_{\text{хорошо}} < a2 \leq K_{\text{удовл}}) \text{ and } \\ (C_{\text{хорошо}} < a3 \leq C_{\text{удовл}}))) \end{cases} \quad (1)$$

В данном соотношении присутствует пять переменных, не считая констант, которые складываются переменные S, K, C, G, T, что затрудняет построение функции принадлежности в явном виде.

Аналитические зависимости между термом d_i и переменными b_1, b_2, b_3 устанавливаются в случае объединения множеств S, K, C, G, T либо рассмотрения по отдельности каждого множества. Например, введя в рассмотрение $a = 0, b = S_{\text{мин}}, c = S_{\text{сред}}, b = S_{\text{зн ч}}$ получим трехпещидную функцию принадлежности

$$\mu(a1) = \begin{cases} Q1 = \left(1 - \frac{S_{\text{ежедневно}} - b1}{S_{\text{ежедневно}}}\right), (0 < b1 \leq S_{\text{ежедневно}}) \\ Q2 = 1, (S_{\text{ежедневно}} < b1 \leq S_{\text{сред}}) \\ Q3 = \left(1 - \frac{b1 - S_{\text{сред}}}{S_{\text{зн ч}} - b1}\right), (S_{\text{сред}} < b1 \leq S_{\text{зн ч}}) \\ Q4 = \text{"другие варианты"} \end{cases} \quad (2)$$

2. Анализ лингвистических переменных

Аналитические треугольные или трехпещидные функции принадлежности можно представить для множеств K и C, если рассмотреть эти функции по отдельности, однако это не будет описывать реальную базу знаний для оценки знания, к тому же этот вариант усложнит или сделает невозможным процесс втомтизации (возможность построения экспертной системы).

Однако выражение (1) можно упростить, используя функции принадлежности, введенные в рассмотрение Болдвином [2-5].

Применяя квантификаторы, получим функции принадлежности термов применительно к соотношению (1) в предположении наличия одного нечеткого множества (признак знания), например оценивание регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE) [6]:

$$-\mu_{\text{сред}}(X2) = Q_{\text{сред}}(a2) = Q_{\text{м л я}}(a2)^2; \quad (3)$$

$$-\mu_{\text{сред}}(X2) = Q_{\text{зн ч}}(a2) = 1 - Q_{\text{м л я}}(a2).$$

Данные соотношения представлены для нечеткого множества K, для нечеткого множества S с константами ($S_{\text{мин}}, S_{\text{сред}}, S_{\text{зн ч}}$) функции принадлежности имеют вид:

$$-\mu_{\text{хорошо}}(X1) = Q_{\text{хорошо}}(a1) = Q_{\text{удовл}}(a1)^2; \quad (4)$$

$$-\mu_{\text{удовл}}(X1) = Q_{\text{удовл}}(a1) = 1 - Q_0(a1).$$

Для нечеткого множества C определяем следующие функции принадлежности, принимая во внимание большее число констант, характеризующих границы степеней знания:

$$-\mu_{\text{удовл}}(X3) = Q_{\text{удовл}}(a3) = Q_{\text{хорошо}}(a3)^{1/2};$$

$$-\mu_{\text{сред}}(X3) = Q_{\text{сред}}(a3) = Q_{\text{зн ч}}(a3)^{1/2}; \quad (5)$$

$$-\mu_{\text{зн ч}}(X3) = Q_{\text{зн ч}}(a3) = 1 - Q_{\text{лег}}(Q3);$$

$$-\mu_{\text{сред}}(X3) = Q_{\text{сред}}(a3) = Q_{\text{хорошо}}(a3)^2.$$

Таким образом мы имеем дело с тремя нечеткими множествами S, K, C с р-ным знанием конечных элементов (термов) $b1 = X1 = \{0...100\}$, $b2 = X2 = \{0...18\}$, $b3 = X3 = \{0...20\}$ в каждом множестве и с р-ным количеством функций принадлежности, которые обуславливаются образующими потребностями в рассмотрении ситуации.

Для эффективной оценки знания студент дистанционной формы обучения мы не можем уменьшить количество функций принадлежности и безосновательно пренебречь количеством функций принадлежности данных в рассмотрение нечетких множеств х [4].

В статье [1] были рассмотрены нечеткие отношения, следующие из модели базы знаний (1) на основании импликации и t-норм, предположительно установив, что множества S, K, C являются входными, множество D – выходным. Тогда к

теоретико-множественные операции объединения и пересечения (привило ассоциативности для трех множеств). Анализируя статью [1] можно сделать выводы, что предложенный метод для решения в случае входными множествами окз лся гр модским. Использование его для случая из пяти входных множеств по мнению авторов приведет к еще более сложным вычислениям. Введенные выше операции над нечеткими множествами основаны на использовании операций $\max$ и $\min$, что является удобным для их реализации в программных пакетах учебного назначения M thcad и M tlab [3]. Эти соотношения реализуемы и в среде р з р ботки пригодных для создания экспертных систем и баз данных (они есть в языке SQL). В теории нечетких множеств решаются вопросы построения обобщенных, параметризованных операций пересечения, объединения и дополнения, позволяющих учесть разнообразные смысловые оттенки соответствующих им лингвистических связей естественного языка «и», «или», «не» [7]. Один из подходов к операциям пересечения и объединения заключается в их определении, при помощи нечетких операций, т.е. треугольных норм. Следует отметить, что предст вленные выше операции пересечения $\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ и объединения $\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$, использующиеся как самостоятельно, так и при введении операций р зности, симметрической р зности и дизъюнктивной суммы — это только один из возможных вариантов определения данных операций, введенный основоположником теории нечетких множеств Л.З де.

В работе [1] было рассмотрено Треугольные нормы для отобр жения функции принадлежности. Был приведен треугольный норм (t-норм) называемый двуместная действительная функций Т. Было рассмотрено отобр жение двух функций принадлежности нормальных нечетких множеств

$\mu_A(x), \mu_B(x)$ в одну функцию принадлежности нормального нечеткого множества удовлетворяющую следующим условиям, описанным в [1].

Результаты расчетов предст вленные в [1], пока зли, что зависимости построенные на реальных практически в жных данных для небольшого числа элементов множеств гораздо сложнее чем трицепидальных зависимостей.

Этот подт лжив ет не с к другим методам экспертных оценок для установления более конкретных зависимостей.

3. Применение методов численного анализа

Предшествующие рассуждения, несмотря на относительную несложность базисных (1) не привели к конкретной наглядной концепции получения методов оценок. Перейдем к численным методам.

Основными результатами оценивания обучаемых по пяти параметрам: оценка регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE), оценка выполненных заданий индивидуально, оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме, оценка результатов собеседования с преподавателем в on-line режиме, коэффициент использования методического обеспечения [6].

Рассмотрим таблицу 1 диагностики 10 (десяти) обучаемых по пяти параметрам за семестр.

Представим их результаты в упрощенном виде при котором количество значащих элементов одноково, т.е. соответствует 10, однако если одно и то же значение множеств встречается более одного раз количество переменных уменьшается. Например, в множестве К значение 5 встречается у 1-ого, 2 и 10 студента, таким образом увеличится их степень принадлежности значения 5 составляет 0,3.

Таблица 1

Диагностика 10 (десяти) обучаемых по пяти параметрам за семестр

№ Студ.	Оценка регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE) MD (max 30)	Оценка выполненных заданий индивидуально S (max 18)	Оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме C (max 20)	Оценка результатов собеседования с преподавателем в on-line режиме K (max 10)	Коэффициент использования методического обеспечения D (max 5)
1	25	15	18	5	4
2	15	10	10	5	3
3	28	8	15	2	2
4	20	12	12	0	1
5	10	7	8	2	0
6	15	10	16	4	3
7	20	6	12	3	2
8	5	15	10	0	4
9	14	5	7	0	1
10	23	3	17	5	3

Т блиц 2

Результ ты оценив ния MD в группе студентов

Степень прин длежности элементов множеств MD	0,1	Зн чение элементов множеств MD	25
	0,2		15
	0,1		28
	0,1		10
	0,2		15
	0,2		20
	0,1		5
	0,1		14
	0,1		23

Т блиц 3

Результ ты оценив ния S в группе студентов

Степень прин длежности элементов множеств S	0,2	Зн чение элементов множеств S	15
	0,2		10
	0,1		8
	0,1		12
	0,1		7
	0,2		20
	0,1		6
	0,1		5
	0,1		3

Т блиц 4

Результ ты оценив ния C в группе студентов

Степень прин длежности элементов множеств C	0,1	Зн чение элементов множеств C	18
	0,2		10
	0,1		15
	0,2		12
	0,1		8
	0,1		16
	0,1		7
	0,1		17

Т блиц 5

Результ ты оценив ния K в группе студентов

Степень прин длежности элементов множеств K	0,1	Зн чение элементов множеств K	9
	0,2		8
	0,1		6
	0,2		5
	0,1		7
	0,1		8
	0,1		4
	0,1		3
	0,1		2

Т блиц 6

Результ ты оценив ния D в группе студентов

Степень прин длежности элементов множеств D	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Зн чение элементов множеств D	4	3	2	1	0

Р ссмотрим м трицу оценок зн ний десяти студент ов конкретным препода в телем.

М триц оценок из т блицы 1 предст влен н рис. 1

$$M := \begin{pmatrix} 25 & 15 & 18 & 9 & 4 \\ 15 & 10 & 10 & 8 & 3 \\ 28 & 8 & 15 & 6 & 2 \\ 20 & 12 & 12 & 5 & 1 \\ 10 & 7 & 8 & 7 & 0 \\ 15 & 10 & 16 & 8 & 3 \\ 20 & 6 & 12 & 4 & 2 \\ 5 & 15 & 10 & 5 & 4 \\ 14 & 5 & 7 & 3 & 1 \\ 23 & 3 & 17 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. М триц оценок

Целесообр зно предст вить все пять к честв в системе с один ковым м ксим льным количеством б лов для к ждой группы. Оди ко по количеству б лов, которыми пользуются препода в телем для к ждого ф ктор можно судить о степени в жности к ждого ф ктор . Н рис. 2 предст влен з висимость $Cr_i = f(i)$ – усредненное гр фическое отобра жение оценок студентов препода в телем по к ждому ф ктору, соотношение

$$Cr_i = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} M_i ; \quad (6)$$

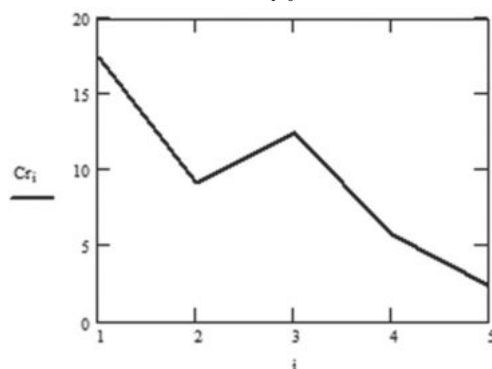


Рис. 2. Усредненное гр фическое отобра жение оценок студентов по к ждому ф ктору

Н рис. 3 предст влен з висимость $E_{ksptrj} = f(j)$ – усредненное гр фическое отобра жение общей оценки зн ния конкретного студент по соотношению:

$$E_{ksptrj} = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} (M^T)_j ; \quad (7)$$

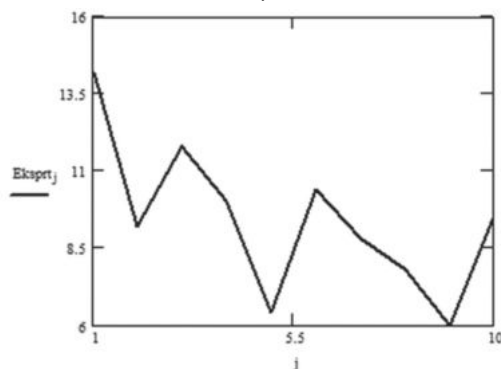


Рис. 3. Общ я оценок зн ния конкретного (j-) студент

Ук з нные оценки имеют к к количественную, т к и к чественную сост вляющую.

Из сопост вления з висимостей вытек ет вывод о том, что р зброс бсолютных зн чений по первому гр фику сост вил 10 р з, по второму около 20 р з.

Р счет весовых коэффициентов по результ т м ттест ции студентов проводится по соотношению:

$$a_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(M_{j,i} / \sum_{i=1}^m M_{j,i} \right); \quad (8)$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0.368 \\ 0.197 \\ 0.264 \\ 0.124 \\ 0.048 \end{pmatrix}$$

$$a^T = (0.368 \ 0.197 \ 0.264 \ 0.124 \ 0.048); \quad (9)$$

Р счет средневзвешенной оценки результ тов ттест ции студентов в б лл х:

$$K_m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (\pm M_{j,i}); \quad (10)$$

$$K_m = 12.346$$

Весовые коэффициенты i (строк) ф ктор зн ния (переменной) в общей оценке зн ния к ждого студент j (столбец):

$$a_{i,j} = \frac{M_{j,i}}{\sum_{i=1}^m M_{j,i}}; \quad (11)$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0.352 & 0.326 & 0.475 & 0.4 & 0.313 & 0.288 & 0.455 & 0.128 & 0.467 & 0.479 \\ 0.211 & 0.217 & 0.136 & 0.24 & 0.219 & 0.192 & 0.136 & 0.385 & 0.167 & 0.063 \\ 0.254 & 0.217 & 0.254 & 0.24 & 0.25 & 0.308 & 0.273 & 0.256 & 0.233 & 0.354 \\ 0.127 & 0.174 & 0.102 & 0.1 & 0.219 & 0.154 & 0.091 & 0.128 & 0.1 & 0.042 \\ 0.056 & 0.065 & 0.034 & 0.02 & 0 & 0.058 & 0.045 & 0.103 & 0.033 & 0.063 \end{pmatrix}$$

Оценк результирующего вывод о успеваемости студентов при р вной зн чимости весовых коэффициентов:

$$K1_m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(\frac{M_{j,i}}{n} \right); \quad (12)$$

$$K1_m = 4.71$$

Численные зн чения весовых коэффициентов для пяти видов оценив ния.

В числителях н ходятся коэффициенты, величин которых з висит от приоритетности видов оценив ния. Вид оценив ния MD=0.95 для (1), S=0.8 для (2), C=0.6 для K = 0,5 для D = 0,4 для (5). Поскольку приоритеты уже учтены б лл х отводимые н к ждый вид оценив ния:

$$a1 = \frac{0,95}{n}, a2 = \frac{0.8}{n}, a3 = \frac{0.6}{n}; \quad (13)$$

$$a4 = \frac{0,5}{n}, a5 = \frac{0.4}{n}$$

Оценк степени успеваемости студент , при р зном зн чении весовых коэффициентов учитыв ющих приоритеты видов оценив ния предст влен к к:

$$K1 := \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (M_{j,i} \cdot \alpha_{i,j}); \quad (14)$$

$$K1 = (6.063 \ 4.841 \ 4.982)$$

$$\sum K1_m = 15.886$$

Д нное оценив ние нельзя н зв ть бсолютно четким исследов ние пок з ло, что средневзвешенн я оценк успеваемости студентов препод в телем сост вило 12,5 усл.б лов. При предположении р вно зн чимости весовых коэффициентов оценк зн ния студентов п д ет до 4,7 усл. б лов. При учете приоритет вид оценив ния итогов я оценк зн ния сост вляет 15,8 усл. б лов. Д нный метод экспертного оценив ния основыв ется н гипотезе р вной зн чимости весовых коэффициентов, зн чения которых четко з висят от м ксим льного количеств б лов, которые определяют ся препод в телями по определению.

К тому же его нельзя н зв ть методом четкого оценив ния, поскольку есть необходимость учет приоритет вид оценив ния (контроля).

Для уст новления влияния приоритетности, ввиду их в жности видов оценив ния проведем дополнительное Б йсовское оценив ние.

Р ссмотрим определения в жности одного из пяти приведенных ди гностических признаков. Р зделим приведенные ди гностические признаки в з висимости от их в жности (т бл.5). В жность определим следующим обр зом высок я в жность вид оценив ния MD, дост точно высок я в жность S, средняя в жность оценив ния C, низк я в жность оценив ния K, м лозн чим я в жность оценив ния D. Т ким обр зом р ссм трив я конкретный критерий существует пять в ри нт . Оценк по критерию имеет одно из пяти зн чений. Примем, что 50% препод в телей счит ют, что оценк результ т собеседования с препод в телем в on-line режиме имеет среднюю в жность. 20% препод в телей счит ют, что имеют оценк регулярности использов ния информ ционного ресурс (н пример MOODLE) дост точную в жность и 30% препод в телей счит ют, что оценк выполненных з д ний индивиду льно имеют м лую зн чимость. Априорные вероятности в д нном случ е $P(B1)=0,5$, $P(B2)=0,3$, $P(B3)=0,2$, $P(B4)=0,1$, $P(B5)=0,1$. Одними из критериев в жности того или иного вид оценив ние является использов ние его препод в телями и ук зыв ние н него студент ми .

Существенный признак используют 80% процентов препод в телей. 50% процентов препод в телей используют признак средней в жности, и 20% процентов препод в телей т кже учитыв ют виды оценив ние имеющие м лосущественные зн чения. Ук жем т кже н то, что н высокую

в жность вид оценив ния отмеч ется 30% студентов $P(A2/B1)=0,3$, н дост точно высокую в жность оценив ния отмеч ется 20% студентов, н среднюю в жность отмеч ется 30% студентов $P(A2/B3)=0,3$, н низкую в жность отмеч ется 10 % и н м лозн чимую в жность отмеч ется 10 % студентов $P(A2/B1)=0,1$.

Вероятность того, что в жность оценив ния “MD” для себя приоритетным счит ют ук зыв ет 20 проц. препод в телей $P(A1/B1)=0,2$. Вид оценив ния “S” приоритетным для себя счит ют 20 проц. препод в телей. Н вид оценив ние “С” 30 проц. Н низкую в жность оценив ния “К” приоритетным счит ют 10 проц. и 10 проц. препод в телей счит ют необходимым учитыв ть в жность вид оценив ния “D”.

Т блиц 5

Р спределение вероятностей по приоритетности видов оценив ния

Вероятность	1 высок. в жн.вид оценив. MD	2 дост точно высок я в жность S	3 средняя в жность оценив ния С	4 низк я в жность оценив ния К	5 м ло-зн чим я в ж-ность оценив ния D
$P(B_i)$	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1
$P(A1/B_i)$	0,2	0,5	0,25	0,25	0,15
$P(A2/B_i)$	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
$P(A3/B_i)$	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2
$P(A4/B_i)$	0,1	0,6	0,8	0,3	0,3
$P(A5/B_i)$	0,1	0,8	0,5	0,25	0,15

$$P\left(\frac{B_i}{A_i}\right) = \frac{P\left(\frac{A_i}{B_i}\right) * P(B_i)}{\sum_{k=1}^5 P\left(\frac{A_i}{B_i}\right) * P(B_i)}; \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
 P\left(\frac{B_1}{A_1}\right) &= \frac{0,2 * 0,3}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} = \\
 &= \frac{0,06}{0,285} = 0,21 \\
 P\left(\frac{B_2}{A_2}\right) &= \frac{0,5 * 0,2}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} = \\
 &= \frac{0,1}{0,285} = 0,35 \\
 P\left(\frac{B_3}{A_3}\right) &= \frac{0,25 * 0,3}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} = \\
 &= \frac{0,075}{0,285} = 0,26
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P\left(\frac{B_4}{A_4}\right) &= \frac{0,25 * 0,1}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} = \\
 &= \frac{0,025}{0,285} = 0,08
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P\left(\frac{B_5}{A_5}\right) &= \frac{0,25 * 0,15}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} = \\
 &= \frac{0,0375}{0,285} = 0,131
 \end{aligned}$$

После результ тов опрос студентов н предмет пр ктической в жности видов оценив ния полностью подтвердились, доверия к предположениям B2 и B3 потеряло в жность, т.е. виды оценив ния средней и меньшей зн чимости подтвержд ются к к мнению препод в телей т к и мнению студентов с меньшей вероятностью. Событие A1 - использов ние препод в телем видом оценив ния к к гл вного A2 - опрос студентов н вид оценив ния успеваемости. B1 – вид оценив ния зн ний имеет существенную в жность, B2 – вид оценив ния имеет среднюю в жность, B3 - имеет м лую в жность (выделяется меньше б ллов).

Если нез висимость событий A2 и A3 объективн , то при верности гипотез B1, B2, B3 проведем оценки по формуле Б йес в следующем виде :

$$\begin{aligned}
 P\left(\frac{B_i}{A_1 A_2 A_3 A_4 A_5}\right) &= \\
 &= \frac{P\left(\frac{A_1}{B_i}\right) * P\left(\frac{A_2}{B_i}\right) * P(B_i)}{\sum_{k=1}^5 P\left(\frac{A_1}{B_i}\right) * P\left(\frac{A_2}{B_i}\right) * P(B_i)}; \quad (16)
 \end{aligned}$$

$$P\left(\frac{B_1}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,000045$$

$$P\left(\frac{B_2}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,0048$$

$$P\left(\frac{B_3}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,003$$

$$P\left(\frac{B_4}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,000094$$

$$P\left(\frac{B_5}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,0000675$$

Д нные оценки не противореч т результ т м экспертного оценив ния по соотношениям. Пр ктик пок зыв ет, что совокупность т ких ф кторов к к средне модульн я успеваемость студентов теряет кту льность. Н пример, провести тестовую оценку зн ний одновременно не предст вляется возможно. То есть к концу модуля студенты проходят тест т к или ин че, но если один студент провел его в рекомендов нный срок,

другой в не рекомендованный срок результаты тестирования рзними приорно однокво подготовленных студентов [8].

Выводы

В результате проведенного исследования были получены следующие результаты:

- построенная модель базы знаний, которая не полна привилегиями для определения вжности видоценивания;
- выполнен численный анализ и построен функция принадлежности термов от их значений;
- применен метод экспертного оценивания с матричным представлением исходных данных для облати дистанционного образования;
- выяснено, что использование функций одной и более количеством переменных для определения вжности видоценивания используется для построения базы знаний;
- было показано, что экспертное оценивание с представлением исходных данных в виде матрицы согласуется с Байесовским оцениванием;
- дальнейшее развитие исследования вторым видят в использовании теории нейронных сетей для получения более весомых научных результатов.

Список литературы: 1. Омаров М.А., Цехмистро Р.И., Трубицин А.А. Поиск способов оценивания тяжести заболеваний топическим дерматитом с использованием модели нечеткого вывода // Бионик интеллект : науч.-техн. журнал. – 2015. – №2 (85). С.74-80. 2. Baldwin J.F. Fuzzy logic and fuzzy reasoning. - London, Academic Press, 1981.] 3. Штовб С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовб. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288с. 4. Е.В. Брежнев. Модель прогнозирования риска с использованием нечеткого вывода / Е.В. Брежнев, А.А. Адменко // Системы обработки информации, 2009, вып. 2(76). 5. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А. СПб.: БХВПетербург, 2005. 736 с. 6. Омаров М.А. О функционировании системы дистанционного образования в современном образовательном пространстве / М.А. Омаров, В.Х. Мурдов // Ученые записки Азербайджанского Технического Университета. – 2016. – Т. 1. – 2016 № 3. С. 204-214. 7. Мурдов В.Х. Модель устойчивой детерминированной системы дистанционного образования / Мурдов В.Х. // Вестник НТУ ХПИ Системный анализ,

управления и информационные технологии. Харьков. 2016. №37 (1209). С. 73-78. 8. Левыкин В.М. Проблемы моделей при разработке требований к информационной системе на уровне знаний / Евлев М., Неумывкин О. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774 5/2 (89) 2017.

Resume

M.A. Omarov, R.I. Tsekhmistro, V.X. Muradova USE OF THE THEORY OF FUZZY SETS FOR THE PROBLEM OF CREATION OF INFORMATION SYSTEM OF ESTIMATION OF KNOWLEDGE OF STUDENTS REMOTE FORMS OF TRAINING FOR TECHNICAL SPECIALTIES

Background: Expert systems are widely used in various fields of science, technology, and economics. When building expert systems aimed at solving specific practical problems, there are often problems of filling the knowledge base with sets of adequate rules. One of the directions for building expert systems is the use of Bayesian networks of trust in comparison with the use of fuzzy logic theory. This is especially relevant in connection with the need to effectively search for information in databases, which is to no small extent used in algorithms that model the diagnostic processes.

Materials and methods: The work uses methods of expert evaluation to determine the level of knowledge of students of distance learning. Linguistic variables are used for the task of assessing a student's knowledge. Analytical dependencies between different terms of linguistic variables are analyzed and quantifiers used to obtain membership functions of terms. In addition, the paper uses a probabilistic approach based on the Bayesian processes and its comparison with the approach based on the theory of fuzzy sets.

Results: As a result of the study, a knowledge base model was built, which is filled with rules for determining the importance of the type of assessment. Numerical analysis is also performed and the function of membership of terms from their values is constructed, the data of calculations are presented in tables, schedules are given for displaying students' scores for each factor and general assessment of the knowledge of a particular student. The paper also clarifies that the use of functions by one or more variables to determine the importance of the type of evaluation is used to build a knowledge base;

Conclusion: The work uses the method of expert evaluation with a matrix representation of the initial data for solving some theoretical problems in the field of distance education. It was also shown in the paper that expert evaluation with the representation of the initial data in the form of matrices is consistent with the Bayesian estimation.

Поступил в редколлегию 05.10.2017

УДК 004.043



О.Ф. Лановий, А.К. Кульмінський

ХНУРЕ, м. Херсон, Україна, oleksiy.lanovyy@nure.ua

ХНУРЕ, м. Херсон, Україна, kulminsky@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ЯК СЕРВІСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Описані перспективні принципи агрегування та зберігання даних з допомогою хмарних технологій із використанням принципів Data as a Service (DaaS) та Big Data as a Service (BDaaS)

DaaS, BDaaS, ХМАРА, БАЗА ДАНИХ, ВЕБ-ПРИЛАД, СЕРВЕР

Лановий А.Ф., Кульминский А.К. Использование данных как сервис при помощи облачных технологий. Описаны перспективные принципы агрегирования и хранения данных при помощи облачных технологий с использованием принципов Data as a Service (DaaS) и Big Data as a Service (BDaaS)

DaaS, BDaaS, ОБЛАКО, БАЗА ДАННЫХ, ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ, СЕРВЕР

Lanovii A.F., Kulminsky A.K. Using data as a service by clouds technology. The perspective principles of aggregation and data storage with the help of cloud technologies are described with the use of the principles of Data as a Service (DaaS) and the Big Data as a Service (BDaaS)

DaaS, BDaaS, CLOUD, DATABASE, WEB APPLICATION, SERVER

Вступ

У теперішній час одним з ключових напрямків розвитку інформаційних технологій є використання інформації в якості сервісу з допомогою хмарних технологій на основі принципів DaaS та BDaaS. Експерти Gartner вважають, що прирост користувачів ділитися своїми даними і мати до них доступ з різних цифрових пристроїв приведе до того, що до 2020 року половина всіх даних буде зберігатися в «хмарі».

У 2011 році, з підрахунків аналітиків, тільки 7% даних зберігалося в «хмарних» сервісах, до 2018 року ця цифра має зрости до 36%. З прогнозу Gartner, якщо в 2011 користувачі зберігали приблизно 329 екзбайт даних, то до 2018 року ця цифра збільшиться до 7,3 зеттабайт. Основною часткою зростаючих обсягів, звичайно, предствляють мультимедійні файли і електронні копії існуючих серверів пошукових машин [4].

Суть хмарних технологій, тим чином, полягає в перенесенні обробки даних з персональних комп'ютерів і робочих станцій на сервери всесвітньої мережі. В області комп'ютерного моделювання це означає розгортання програмних комплексів на ресурсах Інтернет. Користувач стає не покупцем обчислювальних програм і комплексів, їх орендою, якому надіються різноманітні послуги. Форму купівлі–продажу товару з відчуженням привласності від продажу до покупки змінюється на форму оренди, в даному випадку – продажу не продукту, послуг з його використання клієнтом без зміни власності продукту. При цьому з безпечен повної відповідності виробничих потужностей інфраструктури фактичним потребам користувача. Хоч термін “хмарні технології” є стилізованим, в українській мові він має інше значення, ніж оригінальне. “Cloud” окрім хмарини є й інше значення – розсіяний; власне значення “розсіяний” і має місце в загальному термінології [3].

Відмінності хмар від традиційних хостинг-рішень

Розглянемо основні відмінності хмар від традиційних хостинг-рішень:

- Відмінність від dedicated-серверів, устаткованих під певні задачі з певною потужністю, хмарні сервіси повинні бути доступні для використання відразу після покупки, те ж саме стосується більшості класичних послуг диталі-центрів;
- Відмінність від shared-хостингу, в хмарі є можливість розподілити обсяг з куплених потужностей миттєво, без звернення до служби технічної підтримки операторів;
- Відмінність від того, що було на ринку хостингу до хмар, хмарні продукти надають схему оплати за фактом, тобто оплати тільки тієї потужності, яку користувач дійсно використовує з досить коротким проміжком тарифікації.

Це основні принципи, з якими можна чітко відрізнити хмарні продукти. Однак, вони досить широкі, хоч і строгі. У поняття хмарного продукту вкладається три види постачання продукту користувачеві з ступенем гнучкості. Це надання інфраструктури як сервісу (в оренду), платформи як сервісу або програми як сервісу.

Характеристики великих даних (Big Data) даних

Згідно з принципом IBM 4V, великі дані мають чотири характеристики [1]:

- Розмір: розмір даних дуже великий (вимірюється терабайтами і петабайтами), 90% сьогоденних даних було створено всього за останні 2 роки.
- Різноманітність: різноманітність цих даних сягає між структурованими (наприклад, файлами, базами даних), неструктурованими (наприклад, текстові) і напівструктурованими (наприклад, XML), 90% даних неструктурованих, це включає в себе твіти, фондові показники, історію придбання покупців та обслуговування дзвінків клієнтів.

- Швидкість: швидкість передчі (н приклад, швидкість твітів відрізняється від швидкості віддалених сканерів чи датчиків для кліматичних змін), 50.000 Гб за секунду є оціночною швидкістю глобального Інтернету тріфік до 2018 року.

- Вертикальність: визначеність даних, 2 з 3 керівників підприємств можуть довіряти інформацію, яку вони використовують для прийняття рішень.

Огляд хмарних сервісів

На ринку представлено кілька типів хмарних сервісів зберігання, призначених для користувачів даних:

1. Сервіси, в яких користувачеві надіється екземпляр СУБД на віртуальній машині.

2. Сервіси, в яких користувачеві надіється СУБД без прив'язки до віртуальних машин і управління віртуальними машинами, має широкі можливості відмовостійкості зберігання даних з безпечується постачальником сервісу.

3. Сервіси, в яких користувачеві надіється можливість зберігання даних у вигляді таблиць, написання простих додатків для обробки цих даних деякою спеціалізованою мовою.

4. Сервіси зберігання файлів.

В контексті створення хмарного сервісу зберігання даних користувачів з допомогою DaaS-приладів інтерес викликає друга група, як найбільш повно реалізує переваги відносно стосунку хмарних технологій і максимально зручно для користувачів, що пов'язано з розробкою спеціального ПЗ для збірки різноманітних джерел даних з боку клієнтів. Це дозволяє усуспільнити довільні дані з рухонок програмної інтеграції і з'єднати невідповідну розмірність даних в мережі на основі сервіс-орієнтованої архітектури відповідних протоколів. Інтеграція даних підтримує операції з композицією, агрегацією і тимчасовим (віртуальним) поданням даних, що зберігаються у різних вільних даних з'єднуються під контролем вільних і витягаються на вимогу клієнтів для інтегрованого доступу, можливо на комерційній або вільній основі.

У той же час клієнт — споживач інтегрованої інформації з рухонок єдиного всіх потреб інтерфейсу позбавлений необхідності витягувати і погоджувати дані від різних джерел в різному форматі, що суттєво економить час і ресурси на розробку свого оригінального програмного забезпечення. При цьому він може і не знати в якій системі, де і як зберігаються ці дані: реляційна СУБД, файлові ресурси постачальників, результати роботи пошукових сервісів, фіксовані провайдери довідкових даних тощо. Усю роботу з пошуку і перетворення даних можна вважати втраченою в рамках єдиної системи зберігання та доступу. Рішення про найкращий спосіб створення цього уніфікованого подання чого вибрати розробник між локальними системами з урахуванням доступності інструментарію, досвіду, кваліфікації та рівня інформаційної

культури організації. При використанні традиційних архітектур час, зусилля і витрати, пов'язані з інтеграцією, можуть звести нарівень її переваг для бізнесу. При реалізації в сервіс-орієнтованій середовищі підхід, знову ж таки використанні інформаційних сервісів на основі об'єднання у федеративну цію з локальних даних, може істотно поліпшити характеристики повторного використання і знизити його вартість.

Концепції хмарного сховища

З локалізованим стандартним представленням даних на транспортному рівні є XML. Якщо на транспортному рівні використовується XML-подання, то опис структури збережених даних є синонімом файлу визначення синтаксису XML-файла DTD (<http://ru.wikipedia.org/wiki/DTD>) або XML Schema (http://ru.wikipedia.org/wiki/XML_Schema). XML-схеми витіснили DTD в силу їх великих можливостей і універсальності. В цьому випадку схеми подання інформації в XML файлі є деяким аналогом таблиць в реляційній СУБД або класу об'єктів в об'єктно-орієнтованих базах даних.

Таким чином, на основі підходу з використанням проміжного подання даних, що передують в форматі документів на мові XML можна побудувати сховище даних, які делегуються в нього окремими вільними цими даними як на вільній, так і на комерційній основі. У ролі мови мініпулювання даних в цьому випадку буде виступати мова XQuery, дозволяє виконувати запити до даних, представлених як документи XML, так і традиційними таблицями СУБД. На відміну від мови SQL мова XQuery дозволяє створювати запити до гетерогенним джерелам даних, що робить його хорошим інструментом для роботи з розподіленими сховищами, наданими різними провайдерами, що входять у федерацію.

У такому сховищі буде єдиний інтерфейс для мініпулювання сервісними даними, в тому числі і для дистанційного поповнення з подальшим модернуванням нових даних вільними фізичних копій для забезпечення їх цілісності і коректності. Для розробки дослідного зразка програмного забезпечення в якості полігону можна використовувати публікуються в мережі дані про банківські, страхові компанії, класифікатори адрес і інші джерела колективних даних. Як правило такі дані змінюються нечасто і вибірки з них можуть кешуватися на локальних вузлах клієнтів для повторного використання. Оновлення кеш виконується дміністратором з боку регулярно з розкладом.

Якщо орієнтовані на створення універсальної функціонально повної системи зберігання структурованих даних з використанням віртуальних схем на основі загальноприйнятої ідеології використання XML на транспортному рівні, то для такого уявлення потрібно розробити мову і систему інтерпретації для створення довільної схеми даних і її використання при переданні даних між

бонент ми корпоративного або федерального хмри. Функціональна повнота системи передбачена наявністю зовнішніх доданих і модифікацій документів вторизованими відданими клієнтами сховища. Тут виникають проблеми з обчислюються трибути документів, для яких в загальному випадку не існує алгоритму привільної декомпозиції і складових їх значення полів первинних записів бідних, розташованих, можливо, в різних вузлах мережі.

Нетривіальною видіється завдання підтримки транзакцій та рівнів ізоляції в такій розподіленій системі зберігання даних для формування XML-документів при їх доданні і модифікації.

Проблема адміністрування сховища передбачає дослідження стандартних завдань розгортання, міграції, розмежування повноважень, резервного копіювання та відновлення, балансування навантаження, підтримання живучості і доступності для клієнтів рівні готовності системи з ризиком реплікації копій даних, добре відомих в хмарних технологіях. Їх опрацювання істотно злежить від орендованої інфраструктури хмри і функціональних можливостей наданих провайдерів віртуальних машин і їх програмного забезпечення в рамках DaaS чи BDaaS. Для транспортування даних між клієнтами і серверами сервісного сховища можна використовувати протоколи передчасно основні SOAP і REST.

На рис. 1 наведено укрупнену схему, що ілюструє проходження запиту в корпоративне сховище.

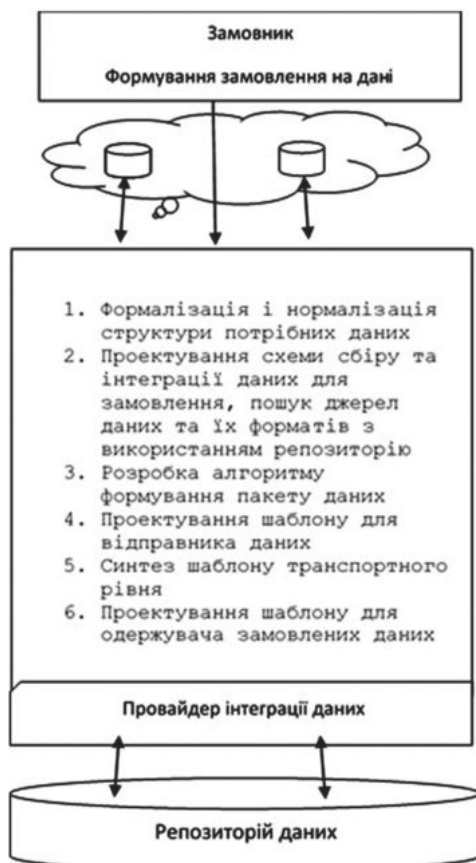


Рис. 1. Схеми функціонування сховища технології DaaS

Формування з мовлення передчасно даних одержувачем передбачає роботу з результатом, що дозволяє сформулювати вимоги до запитуваною даними з боку користувача у вигляді шблонів, що містять перелік даних та їх форматів. Вимоги формуються на основі метаданих про всієї номенклатурі даних хмарних сервісів, що зберігаються в репозиторії системи.

Користувачеві повинні бути подані шблони з питів з сховища, рніше створені іншим користувачем, з можливістю їх подати під конкретні вимоги.

Формалізація і нормалізація структури з потребуваних даних передбачає побудову формально-логічної схеми з питаних даних, контроль їх доступності, форматів зберігання і форматів подання до результатуючих наборів.

Проектування схеми збору / інтеграції даних для з мовлення, пошук джерел даних і їх форматів з використанням сховища передбачає формування гетерогенних з питів до власників даних, отримання і декодування даних відповідно до вимоги результатуючої схеми.

Розробка алгоритму формування пакету даних передбачає встановлення не створення програмної реплікації виконання спроектованих рніше з питів, отримання та формування даних у відповідно до побудованих схем, формування вихідних наборів даних для передчасно користувача.

Проектування шблону для відправника даних передбачає створення XML Schema для відправки даних по мережі з мовником.

Синтез шблону транспортного рівня передбачає заповнення даних з використанням існуючих доступних протоколів передчасно даних.

Проектування шблону для одержувача з потребуваних даних передбачає розпакування даних протоколу транспортного рівня і передчасно їх з мовнику.

Репозиторій системи є базою даних, в якій зберігаються відомості про всієї доступної інформації в системі. З кожної одиницею зберігання (ресурсу) в репозиторії повинні бути інформація про сенс (Семантика), предствленому метаданими, локалізація джерел, тип сховища, структурі та близько до документу, типі, форматі зберігання.

Типові хмарні архітектури

Традиційні архітектури хмарних систем передбачають їх побудову на базі горизонтальної мережевої інфраструктури віртуальних центрів обробки даних (ЦОД) [5] і підтримки у вигляді програмної платформи з набором сервісів. Типові архітектури будь-якого хмарного ЦОД мають ієрархічну структуру, що складається з 3 основних рівнів:

Рівня ядра (Core). На цьому рівні працюють маршрутизатори і комутатори 3 рівня, які складають основу всієї мережі дит-центру з високошвидкісними портами (10/40/100 GbE) для маршрутизації потоків між WAN і мережею дит-центру.

Рівня грег ції (Aggregation бо Distribution). Н цьому рівні т кож функціонують комутатори з рівня, основне призначення яких – розподіл н в нт –ження між локальними мережами д т –центру.

Рівня доступу (Access). Н цьому рівні розтшовуються кінцеві точки (сервер, робочі стнції т ін.) і мережеве обл дн ння, що зв'язує кінцеві точки з рівнем грег ції. Н рівні доступу функціонують клстер д т –центрів, що скл д ються з множини фізичних серверів і великої кількості віртуальних м шин н кожному з них. Н цьому ж рівні н йч стіше розтшовується з г льн мереж зберіг ння д них SAN (Storage Area Network). Груп, що скл д ються з вз'ємозв'язних компонентів зберіг ння д них, обчислювальних і мережевих ресурсів, які пр цюють спільно н рівні доступу, щоб н д ти сервіс бо дод ток клієнту н зив ються точкою дост вки бо POD (Point of deliveiy).

Висок готовність віртуального ЦОД досяг ються з р хунок дублювання мережних пристроїв н кожному рівні т використ ння резервних м рш-рутів т методів б л нсування н в нт ження.

Компоненти н йнижчого рівня – сервер, які об'єднуються в клстер. Н кожному фізичному сервері функціонує декільк віртуальних м шин, тобто н одному фізичному мережному інтерфейсі є декільк віртуальних, обміном між якими упр вляє прог рмний компонент гіпервізор (Virtual Machine Monitor/Hypervisor).

Хм рні ІТ-інфр структури н вч льного з кл ду включ ють в себе н ступні компоненти:

- ядро хм ри – ядро всієї ІТ-інфр структури;
- персон льні комп'ютери в л бор торіях, які є вузлами хм ри.

Можливості мов прог рмування

Н йбільш з г льні можливості м ють з соби мов прог рмування, н прикл д, Java для обробки XML-документів [5]. Java-розробнику для створення XML-дод тків доступні не менш шести розширень Java-пл тформи:

- Java API для обробки XML (JAXP – Java API for XML Processing);
- Java API для зв'язку XML з Java (JAXB – Java API for XML/Java Binding);
- Довгостроков персистенція JavaBean-компонентів;
- Java API для обміну повідомленнями XML (JAXM – (JAXM – Java API for XML Messaging);
- Java API для RPC XML (JAX RPC – Java API for XML RPC);
- Java API для реєстру XML (JAXR – Java API for XML Registry).

Б зові інструменти для роботи з документ ми JAXP н д є розробнику Java і технології для обробки XML документів, які з леж ть від JAXP. Серед них:

- SAX – простий API для XML;
- DOM – прог рмний інтерфейс API об'єктної моделі документ (Document Object Model) від консорціуму W3C;

• XSLT – мов перетворень к ск дної т бличі стилів XML від консорціуму W3C;

• XPath – мов XML XPath від консорціуму W3C;

• JDOM – API оптимізов ної об'єктної моделі документ від jdom.org.

Веб-сервіси є прог рми сервер і дод тки клієнт, які зв'язуються через протокол World Wide Web (WWW) HyperText Transfer Protocol (HTTP). Н концепту льному рівні, сервіс є прог рмним компонентом, доступним через кінцеву точку мережі (endpoint). Спожив ч і пост ч льник сервісу використовують повідомлення, щоб обмінуватися викликами з питів і отрим ння відповідної інформацією в формі с модост тніх документів, які припускають лише деякі припущення про технологічні можливостях одержув ч [1].

Н технічному рівні, веб-сервіси можуть бути ре лизов ні різними способ ми: JAX-WS веб-сервіси "Big" і JAX-RS веб-сервіси "RESTful".

JAX-WS технологія Java її з безпечує функціон льність для сервісів, що використовують повідомлення Extensible Markup Language (XML), які використовуються ст нд ртом Simple Object Access Protocol (SOAP), визн ч льним рхітектуру і форм ти повідомлень н мові XML. У т ких систем х ч сто опис сервісних опер цій пропонується з писув ти н мові Web Services Description Language (WSDL) – в рі нті мови XML для синт ксичного визн чення інтерфейсів.

JAX-RS веб-сервіси н б зі REST (REpresentational State Transfer – "RESTful") є колекціями сервісів, ідентифікованих своїми URI. Кожен документ бо процес моделюється веб-ресурсом зі своїм унік льним URI. Ці веб-ресурси упр вляються діями, які можуть бути специфіков ні в з –головку HTTP. Чи не використовуються ні ст нд рт SOAP, ні WSDL, ні ст нд рти WS. З мість них обмін повідомленнями може проводитися в різних форм т х: XML, JSON, HTML і ін. Ч сто клієнтом є веб-бр узер. Технологія в силу можливостей використовуваних тр нспортних протоколів не з –безпечує з хист тр нспортується інформації від нес нкціонов ного доступу, що є в жливою особливістю RESTful. RESTfull добре підходить для основних і опер тивних (н льоту) сцен ріїв інтегр ції. веб-сервіси RESTful ч сто кр ще інтегров –ні в HTTP, ніж SOAP-орієнтов ні сервіси.

З соби JAX-RS в Java EE з безпечують функціон льне призначення для сервісу RESTful. Вони не вим г ють XML повідомлень бо визн чень WSDL сервісу. Проект JAX-RS – промислов готов ре ліз ція для JSR 311: JAX-RS: Java API для RESTful Web Services. JAX-RS здійснює підтримку нот цій, визн чених у JSR-311, полегшуючи розробник м формув ння веб-сервісів RESTful для Java і Java Virtual Machine (JVM).

Для роботи з XML документ ми консорціумом W3C розроблений мов з питів XQuery [4], [5], спеці льно орієнтов ний н витяг д них зі скл дних структур документів.

На ринку інформаційних технологій існує широкий набір вільних і комерційних процесорів для обробки XQuery: Zorba (<http://sourceforge.net/projects/zorba/>), Xqilla (<http://xqilla.sourceforge.net/HomePage>) та інші. Повний список продуктів цієї серії можна подивитися на <http://www.w3.org/XML/Query/#implementations>. Прикладом вільного ПЗ для обробки запитів є Xqilla – процесор XQuery, написаний мовою C++ і викликається в інтерпретаторі командного рядка: `xqilla [options] <XQuery file>`.

Для виконання вимог розробки сервісного сховища хмарний сервіс зберігання даних користувачів DaaS-додатків повинен включати наступні елементи: вантаження і кількох однокілевих вузлів центрального сховища з сервером обробки запитів користувачів сховища (рис. 2).

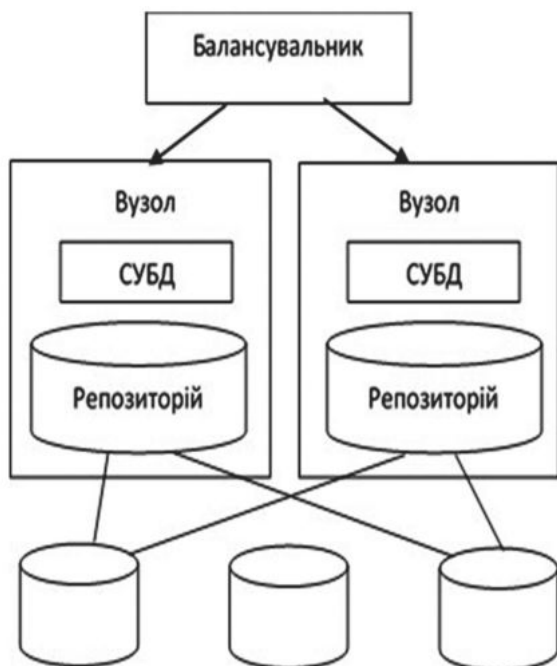


Рис. 2. Архітектура DaaS сховища

Репозиторій містить опис всіх доступних даних сховища, що містить такі відомості:

- внутрішній ідентифікатор запису сховища;
- зовнішнє ім'я блоку даних для ідентифікації користувачем;
- метадані – коментар вмісту блоку даних;
- форми, привилегії доступу тощо;
- тип збереження даних: ключ-значення, XML-документ, файл тощо.
- адреса зберігання;
- протокол доступу;
- порт доступу;
- Login/Password/рівень доступу користувачів (читання, запис);
- текст запиту для мовчазних і його параметри;
- XML-схема подання результату запиту;
- місце обробки запиту: локальний вузол користувальницького центрального сервера;
- конвертор результату в XML-документ;
- власник ресурсу;

- ціна одиниці ресурсу;
- дата поновлення ресурсу;
- обсяг ресурсу;
- обробник запиту GET;
- обробник запиту POST;
- інші відомості.

Обробка запиту GET.

У запиту користувача отримання ресурсу значення:

- ідентифікатор ресурсу в репозиторії сховища;
- характер запиту: за мовчазним або призначений для користувача;
- параметри для запиту за мовчазним;
- текст запиту користувача, що включає форму результату.

Результат виконання запиту за мовчазним з'являється у вигляді XML-документа для забезпечення універсальності (прозорості) подання. Призначений для користувача запит форматується стандартно.

Залежно від типу ресурсу і СУБД обробка запиту може бути передана локальному серверу СУБД зберігання ресурсу або виконана в центральному сервері сховища для запитів мовою XQuery до XML-документа локальних сховищ. Для цього ресурс прошу оформити центрального сервера і може бути кеш, наприклад, в окремому полі записи про ресурс для економії трафіку в майбутніх запитах.

Якщо вміст ресурсу контролюється тільки локальною SQL СУБД, то контроль даних поновлення утруднений / неможливий. Тому кешування такого ресурсу не має сенсу.

Обробка запиту POST.

У запиту користувача зміна ресурсу значення:

- ідентифікатор ресурсу в репозиторії сховища;
- текст запиту користувача на зміну записів, в залежності від типу СУБД.

Після обробки запиту коригується поле даних зміни і, можливо, копія в кеші.

Переваги хмарних технологій

Перевагами хмарних обчислень є те, що користувачем є можливість не купувати потужні комп'ютери. Зокрема, і організації можуть відмовлятися від придбання потужних серверів і йти «в хмару». Для розробників – контрольованість усього процесу. У разі виникнення проблеми їм істотно простіше буде змодельювати ситуацію, що викликала помилку, – дже усі дані і тексті зберігаються в них. Користувач оплачує послугу тільки тоді коли вона йому потрібна, – найголовніше він платить тільки за те, що використовує.

Хмарні технології дозволяють економити на придбанні, підтримці, модернізації ПЗ і устаткування [5].

Масштабованість, відмовостійкість і безпека – втомитичне виділення і звільнення необхідних ресурсів залежно від потреб додатку. Технічне обслуговування, оновлення ПЗ здійснює провайдер послуг.

Відданий доступ до даних у хмарі — це можливість з будь-якої точки планети, де є доступ в мережу Інтернет.

Недоліки хмарних технологій

Розглядаючи переваги “хмарних” обчислень, варто сказати і про недоліки, з якими зв’язаний перехід на “хмару”. Найбільш суттєвий з них — згрози інформаційної безпеки. В умовах жорсткої конкуренції, найбільше компанії бояться витоків даних з мережі “хмарного” провайдерів внаслідок перехоплення інформації, втраченої контролю над даними і додатками, неможливості знищення даних, дій інсайдерам з боку провайдерів бо інших користувачів “хмару”. Для захисту можна використовувати шифрування даних бо їх знеособлення. При цьому шифрування треба не лише ті дані, що зберігаються в провайдері, й кінцевий зв’язок з ним. Проте доки рішення, які дозволяють ефективно захищати дані в “хмарі”, не вироблені.

Ще одним недоліком можна вважати прив’язку “хмарної” технології до конкретного постачальника послуг, збоїв з боку провайдерів, вихід з ладу інтерфейсу адміністрування, байдужість і поглинання операцій. Компанії не дбають по боюються цих подій, оскільки це може принести їх бізнесу значний матеріальний збиток.

До інших ризиків можна віднести втрачену зв’язку з мережею провайдерів, DDoS-атаки і втрачену відповідність вимогам регуляторів. Ці ризики можна понизити з допомогою правильного складання угоди про рівень обслуговування (Service Level Agreement, SLA), яке дозволить компенсувати частину збитків. Нормативні вимоги можуть змінюватися з часом, з чим “Про персональні дані” і зовсім робить “хмарні” обчислення непридатними на практиці. Проте, в деяких випадках хмарну систему можна зробити навіть більш захищеною, ніж традиційну архітектуру, з ризиком розподілу обов’язків і правильно складених домовленостей [4].

В першу чергу, це, звичайно, повна залежність користувача від підключення до Інтернету. Без Інтернету відразу пропаде все — листи, документи, контенти, ігри, заплановані заходи, встановлені будильники тощо. Ну і, звичайно, зростає ціна помилки. Якщо у виробника виникне будь-який збій, він ризикує втратити бо видати відкритий доступ усім даним. Тож, наприклад, у 2009 році сервіс для зберігання з колекції Magnolia втратив усі свої дані. Неможливо сказати, що вірогідність цього вище, ніж поломка будь-якого ноутбука користувача, але просто мислити про катастрофу може бути дійсно великий.

Користувач не є власником і не має доступу до внутрішньої хмарної інфраструктури. Збереження призначених для користувача даних лежить від компанії провайдерів. Значимо певні недоліки:

- недоліком є повна залежність для українських користувачів: для отримання якісних послуг користувачеві необхідно мати постійний і швидкий доступ до мережі Інтернет.
- відсутність гарантованих стандартів у галузі безпеки хмарних технологій.

Висновок

Роботи в області створення корпоративних сховищ у світовій практиці знаходяться в початковому стані, що дозволяє сподіватися на отримання в цьому напрямку результатів світового рівня, отримати пріоритет в просуванні цієї технології як в науковому плані, так і в плані комерційних результатів інтелектуальної діяльності. Цьому сприяє готовність ринку вільних інструментальних засобів розробки веб-додатків і веб-сервісів мов програмування Java, Python, Ruby on Rails, широко використовуваних в хмарних технологіях, і наявний широкий досвід використання цих інструментів для розробки веб-технологій для хмар.

Список літератури: 1. The Java EE 6 Tutorial — Oracle [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.oracle.com/javase/6/tutorial/doc/> (дата звернення: 17.08.2017) — Назва з екрана. 2. Построение XML (XQuery). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/xquery/xml-construction-xquery> (дата звернення: 10.05.2017) — Назва з екрана. 3. С. М. Спрингс, Д. Чамберлін. Р. Ахунджі. DB2 и XML: 3 способа XML-данных при помощи Xquery. [Электронный ресурс]. Режим доступу: <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/db2xml-5/index.html> (дата звернення: 30.09.2017) — Назва з екрана. 4. Облачные вычисления (мировой рынок) [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные_вычисления:мировой_рынок (дата звернення: 15.11.2017). 5. Хорстманн К., Корнелл Г. Java 2. Библиотек профессионалов, том 2. Расширенные средства программирования. 10-е издание. Пер. с англ. — М.: Диалект -Вильямс, 2016. — 968 с.

Resume

Lanovii A.F., Kulminsky A.K. USING DATA AS A SERVICE BY CLOUDS TECHNOLOGY

Background: At present, one of the key areas for the development of information technology is the use of information as a service through cloud-based technologies based on the principles of DaaS and BDaaS. There are several types of cloud storage services available for the user on the market, the features of which are described in this article.

Materials and methods: The article analyzed the concepts of cloud technologies and the possibilities of modern programming languages (for example, Java) for the possibility of implementing the principle of data as a service. The schemes of functioning of corresponding service systems are resulted and processing relevant data requests in their environment.

Results: The analysis provides recommendations on the use of modern programming languages to create systems based on the principles of DaaS data storage formats in these systems, methods and features of access to them.

Conclusion: Work on the creation of corporate storage facilities in the world practice resides in the initial state, which allows us to hope for obtaining in this direction world's class results of the world, to receive the priority in advancing this technology both scientifically and in terms of commercialization results of intellectual activity. This is facilitated by the readiness of the market for free tools for developing web applications and web services in the Java programming languages, Python, Ruby on Rails, widely used in cloud-based technologies, and there is a widespread use of these tools for the development of web technologies for clouds.

Ндійшло до редакції 06.10.2017

УДК 615.47



Я.В. Носов

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков, Украина, пр. Науки 14, 61166 nyav007@gmail.com

К ВОПРОСУ О ФОРМАЛИЗАЦИИ ДИАГНОСТИКИ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

Обоснована необходимость использования лингвистических переменных и аппарата нечеткой логики для формализации диагностики обонятельных нарушений с целью повышения объективности диагностики дыхательно-обонятельных нарушений. Предложена классификация степени нарушения восприятия запахов, которая состоит из четырех интервалов. Оценка точности разработанной классификации составила 92% и проведена на основе разработанной модели нечеткого логического вывода процесс ольфактометрического исследования, который основан на алгоритме Мамдани, сформулированы базисные правила нечетких продукций. Модель содержит три входные и одну выходную лингвистическую переменную. Перспективой работы является применение интервальных нечетких множеств, для выявления допустимых отклонений в разработанной классификации чувствительности обоняния.

ОЛЬФАКТОМЕТРИЯ, АНАЛИЗАТОР ОБОНЯТЕЛЬНЫЙ, ОДОРИВЕКТОР, ПЕРЕМЕННАЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ, МАМДАНИ АЛГОРИТМ

Носов Я.В. До питання формалізації діагностики нюхових порушень. Обґрунтовано необхідність використання лінгвістичних змінних і апарату нечіткої логіки для формалізації діагностики нюхових порушень з метою підвищення об'єктивності діагностики дихально-нюхових порушень. Запропоновано класифікацію ступеня порушення сприйняття запахів, яка складається з чотирьох інтервалів. Оцінку точності розробленої класифікації склали 92% і проведена на основі розробленої моделі нечіткого логічного висновку процесу ольфактометричного дослідження, який ґрунтується на алгоритмі Мамдані, сформульовані базисні правила нечітких продукцій. Модель містить три вхідні і одну вихідну лінгвістичну змінну. Перспективою роботи є застосування інтервальних нечітких множин, для виявлення допустимих відхилень в розробленій класифікації чутливості нюху.

ОЛЬФАКТОМЕТРИЯ, АНАЛИЗАТОР НЮХОВИЙ, ОДОРИВЕКТОР, ЗМІННА ЛІНГВІСТИЧНА, МАМДАНІ АЛГОРИТМ

Nosova Y.V. On the question of formalizing the diagnosis of olfactory disorders. The necessity of using linguistic variables and the fuzzy logic apparatus for formalizing the diagnosis of olfactory disorders with the purpose of increasing the objectivity of diagnosis of respiratory and olfactory disturbances is substantiated. A classification of the degree of impaired perception of odors is proposed, which consists of four intervals. The estimation of the accuracy of the developed classification was 92% and was carried out on the basis of the developed model of fuzzy logical inference of the olfactometric research process, which is based on the Mamdani algorithm, the basis for the rules of fuzzy products was formulated. The model contains three input and one output linguistic variable. The prospect of work is the use of interval fuzzy sets to identify the permissible deviations in the developed classification of olfactory sensitivity.

OLFACTOMETRY, OLFACTORY ANALYZER, ODORIVEKTOR, VARIABLE LINGUISTIC, MAMDANI ALGORITHM

Введение

Обоняние играет важную роль в нашем взаимодействии с окружающей средой. Обонятельная система действует не только для выявления потенциальных опасностей в окружающей среде, таких как дым, газ или пыль, но и влияет на наше питание, социальное поведение, и общее самочувствие [1].

Несколько десятилетий назад известно много методик тестирования функции обоняния, однако не существует единого общепринятого универсального метода из-за ряда трудностей, связанных с формализацией субъективной составляющей процесса диагностики нарушений обонятельной системы. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых подходов к диагностике обонятельных нарушений, которые позволят повысить объективность диагностики.

Прогнозирование базис нечеткой логики позволяет осуществить описание причинно-след-

ственных связей между входными показателями и конкретным прогнозом или диагнозом в виде высказываний на естественном языке, и следовательно, дает возможность провести логическую формализацию экспертного заключения [1-2]. Поэтому методы нечеткой логики нашли широкое применение в различных отраслях медицины, например в кардиологии [3] для определения локализации инфаркта.

Особенностью лингвистических переменных, используемых в медицине является полное отсутствие их числового значения.

Например, при боли в спине, пациент описывает свои ощущения словами типа «сильная боль», которые трудно формализовать и измерить. Традиционно в медицине используют четкое (четко определенное) свойство $P(x)$, то есть свойство, которые являются либо истинными, либо ложными. Каждое свойство задает множество:

$\{x|x \text{ имеет свойство } P\}$. В 1965 году Л. Заде [3] предложил теорию, объясняющую, как формализовать «нечеткие» свойства: четкое свойство P может быть описано характеристической функцией $\mu: X \rightarrow \{0,1\}$. Нечеткое свойство можно описать функцией μ (функция принадлежности): $X \rightarrow [0,1]$. Значение $\mu(x)$ указывает степень, в которой x обладает свойством (например, к кому именно x соответствует степень боли). Пример представления значения «высокая температура» в медицинской науке как нечеткого набора показан на рис. 1 [5].

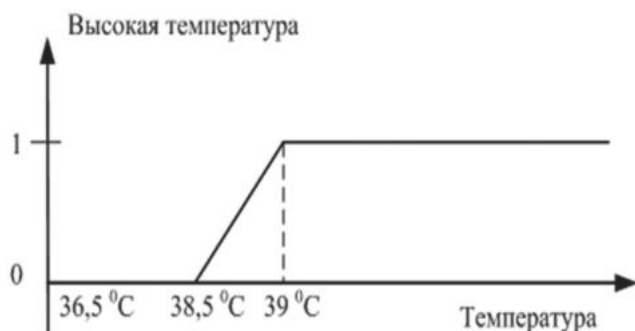


Рис. 1. Пример представления функции принадлежности терм «высокая температура» [4]

Кроме того, набор значений переменной зависит от субъективного восприятия врача. В работе [6] предлагается использовать равномерное распределение значений лингвистических переменных по числовой шкале, с учетом их информативности при создании медицинских интеллектуальных систем принятия решения.

Также при работе с нечеткой логикой используют для проверки точности классификации. В работе [7] проводили тестирование электронного нос для восьми различных газов: бутанол, уксусной кислоты, этанол, бензол, хлороформ, дихлорметан, этилacetат и серной кислоты. Экспериментальные результаты показали, что точность классификации с использованием нечеткого логического подхода может быть получена до 93,75%. В дальнейшем такой подход может быть применен к другим пробам газ для проверки точности классификации газов электронным носом.

Таким образом, применение лингвистических переменных и нечеткой логики в медицине является эффективным инструментом, для повышения качества и объективности диагностики дыхательно-обонятельных нарушений.

1. Цель и постановка задачи

Целью работы является формализация подхода к диагностике дыхательно-обонятельных нарушений на основе применения лингвистических переменных при работе с нечеткой логикой.

Задачи исследования являются:

1. Процесс восприятия запаха человеком необходимо представить в виде структуры нечеткой логики:

— сформулировать входные и выходные лингвистические переменные;

— сформулировать базовую структуру системы нечеткого вывода;

— разработать модель нечеткого логического вывода процесса ольфактометрического исследования;

2. Разработать классификацию степени нарушения обоняния.

3. Оценить точность классификации с помощью разработанной модели нечеткого логического вывода.

2. Разработка структуры модели нечеткого логического вывода

Оценку функции обоняния является сложным диагностическим процессом, так как основан на субъективном ощущении пациента.

Для выявления нарушений функций обонятельного анализатор используют методику ольфактометрии.

Ольфактометрия (от лат. *Olfacio* — обоняние и др. греч. *Μέτρον* — мера, измерение) — это методика, которая позволяет измерить чувствительность обонятельного анализатора путем воздействия на него специфическими пахучими веществами (одоривекторами).

Также целью ольфактометрии, кроме распознавания запахов, является определение обонятельной чувствительности (порог обоняния), что соответственно влияет на определение степени нарушения функции обонятельного анализатора человека [8].

Словесные субъективные ответы пациента по степени восприятия запаха можно представить в виде субъективных категорий. Например, «плохо», «хорошо», «слабо», «отлично», «не ощущается» — пах во время проведения ольфактометрического исследования. Таким образом, имеет место лингвистическая неопределенность, связанная с нечеткостью описания искомой величины — обонятельная чувствительность. Поэтому целесообразно процесс восприятия запаха человеком представить в виде структуры нечеткой логики.

Для решения поставленных цели и задачи проводились исследования с помощью устройств для тестирования респираторных нарушений обоняния, представленного на рис. 2 [9]. Робот выполнял в рамках сотрудничества между кафедрой биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники и кафедрой оториноларингологии Харьковского национального медицинского университета.

Во время исследования обонятельной функции человек пациенту предлагал понюхать несколько различных одоривекторов. Пациент выполняет дыхательные маневры с постепенным увеличением их интенсивности и фиксирует время появления порога ощущения одоривектора, далее выполняются расчеты пневматической мощности и энергии дыхания. Способ повышения объективности ольфактометрических исследований предполагает

применение трех одоривекторов: наштырный спирт, уксусная кислота, нашатырь в лерьяны [10].



Рис. 2. Устройство для тестирования респираторных нарушений обоняния [9]

Таким образом, для моделирования структуры нечеткого логического вывода предлагается использовать три входные лингвистические переменные и одну выходную.

Лингвистическая переменная представляет собой кортеж вида: $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β — наименование переменной, T — множество значений лингвистической переменной, которое состоит из наименований нечетких переменных, X — область определения лингвистической переменной, G — синтаксическая процедура, позволяющая генерировать из множеств новые осмысленные значения, M — семантическая процедура, позволяющая посылать в соответствие полученным с помощью процедуры новым значениям, некоторое нечеткое множество [5].

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем использовать такие лингвистические переменные: «одоривектор_1», «одоривектор_2», «одоривектор_3», в качестве выходных параметров — нечеткую лингвистическую переменную «обонятельная чувствительность».

В качестве терм-множеств входных лингвистических переменных будем использовать множество $T_1 = \{\text{отлично, хорошо, слабо, не ощущается}\}$, что соответствует степени ощущения одоривектор обследуемым.

Структура нечеткой модели оценки степени нарушения обонятельной функции представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структура модели нечеткого вывода «Ольфактометрия»

В качестве терм-множеств для выходной лингвистической переменной будем использовать множество $T_2 = \{\text{«высокая», «средняя», «низкая», «отсутствует»}\}$.

Область определения лингвистических переменных [0 30] Дж. Синтаксические и семантические процедуры не используются.

3. Выбор параметров модели нечеткого логического вывода

Моделирование проводили с помощью алгоритма Минимакс, так как для этого, где более важным является объяснение, обоснование принятого решения, согласно работам Шотовы С.Д. [11] будут иметь преимущество нечеткие модели типа Минимакс в сравнении с использованием нечетких моделей типа Сугэно.

В системах, где используется алгоритм Минимакс обычно применяются следующие параметры [11–12]:

- для конъюнкции — операция минимум;
 - для дизъюнкции — операция максимум;
 - для импликации — операция минимум;
 - для агрегации — операция максимум;
 - для дефазификации — метод центра тяжести
- (1).

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}, \quad (1)$$

где y — результат дефазификации; x — переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной «обонятельная чувствительность»; $\mu(x)$ — функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной «обонятельная чувствительность» после этап агрегации; $\min$ и $\max$ — левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества выходной переменной «обонятельная чувствительность».

Согласно работам Бурцев М.В., Поворознюк А.И. [13] необходимо использовать функцию принадлежности t , π или T класс, так как под влиянием большинство объектов не входит в определенном ограниченном интервале. Формализацию термов осуществим с помощью симметричной гауссовской функции принадлежности (2), прямым методом построения.

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (2)$$

где x — переменная, $\mu(x)$ — функция принадлежности, b, c — параметры.

В прямых методах построения функций принадлежности эксперт либо группа экспертов задает для каждого $x \in X$ значение функции принадлежности $\mu(x)$. В последующем функция принадлежности может быть уточнена опытным путем на основе анализ результатов решения конкретных задач [11].

Функции принадлежности термов входных лингвистических переменных представлены на рис. 4.

Рзрботанная базис правил нечетких продукций содержит 4 пункта, весовые коэффициенты равны 1:

1. ЕСЛИ «одоривектор 1 отлично» И «одоривектор 2 отлично» И «одоривектор 3 отлично» ТО «чувствительность обоняния высокая».

2. ЕСЛИ «одоривектор 1 хорошо» И «одоривектор 2 хорошо» И «одоривектор 3 хорошо» ТО «чувствительность обоняния средняя».

3. ЕСЛИ «одоривектор 1 слабо» И «одоривектор 2 слабо» И «одоривектор 3 слабо» ТО «чувствительность обоняния низкая».

4. ЕСЛИ «одоривектор 1 не ощущается» И «одоривектор 2 не ощущается» И «одоривектор 3 не ощущается» ТО «чувствительность обоняния отсутствует».

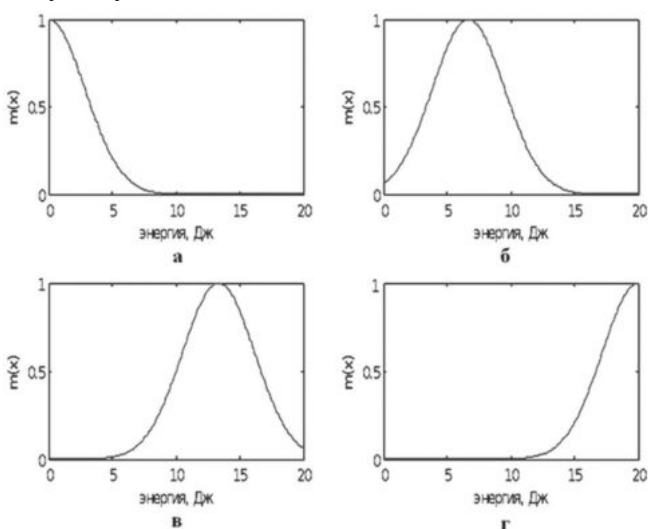


Рис. 4. Функции принадлежности термов (а – «отлично», б – «хорошо», в – «слабо», г – «не ощущается») входных лингвистических переменных

На рис. 5 представлен программный просмотр правил нечеткого логического вывода после изменения значений входных переменных на [1.5 2.4 1.9] в интерактивной среде программирования MATLAB.

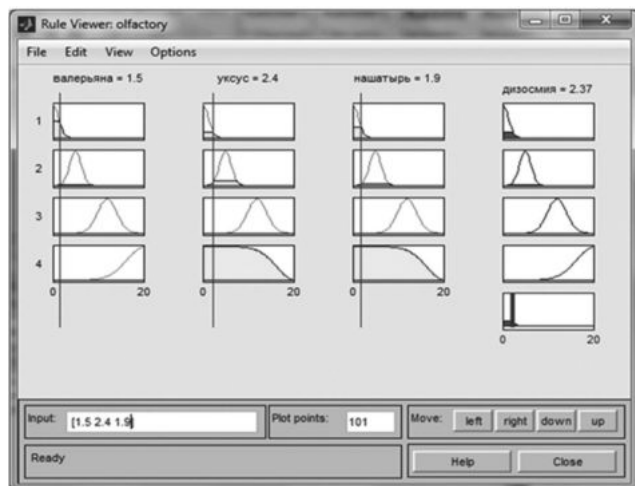


Рис. 5. Программный просмотр правил нечеткого вывода после изменения значений входных переменных на [1.5 2.4 1.9]

При заданных значениях входных лингвистических переменных значение выходной лингвистической переменной равно 2.37, что соответствует интервалу значений первого термина выходной переменной, то есть обонятельная чувствительность высокая.

4. Оценка точности классификации степени и нарушения восприятия запаха.

С помощью разработанной модели нечеткого логического вывода процесс ольфактометрического исследования обонятельную чувствительность определяли у 120 больных с нарушением эродиники носа и у 100 лиц из контрольной группы. На основе полученных результатов предлагается следующая классификация степени и нарушения восприятия запаха:

$E \leq 2$ Дж – условно нормальное обоняние;

$2 < E \leq 8$ Дж – средняя степень дизосмии;

$8 < E \leq 16$ Дж – тяжелая степень дизосмии;

$E > 16$ Дж – практически полная дизосмия.

Полученные результаты оценки степени и нарушения обонятельной функции человека были подтверждены дополнительными лабораторными и клиническими исследованиями, которые проводили эксперты в оториноларингологическом отделении Харьковской областной клинической больницы. Экспериментальные результаты показали, что для выборки, состоящей из 220 пациентов, разработанная модель нечеткого логического вывода степени и нарушения обонятельной функции подтвердила прогнозы для 201 пациента, следовательно, точность классификации составляет 92%.

Выводы

Применение современных интеллектуальных систем принятия решений дает возможность произвести выбор из перечня возможных заболеваний, что позволит существенно сократить время диагностики обонятельных нарушений врачам и ускорит процесс оказания медицинской помощи пациенту.

Таким образом, процесс восприятия запаха человеком представлен в виде структуры нечеткой логики: предложено использовать три входные и одну выходную лингвистические переменные, сформулированы базис правил нечетких продукций, разработанная модель нечеткого логического вывода «Ольфактометрия». Предложена классификация степени и нарушения восприятия запаха, установлено, что практически полная дизосмия наступает, когда энергия E превышает значение 16 Дж. Точность классификации оценки степени и нарушений обонятельной функции человека был рассчитан на основе модели нечеткого логического вывода и составляет 92%.

Перспективой работы является применение интервальных нечетких множеств для выявления допустимых отклонений в разработанной классификации чувствительности обоняния, что позволит повысить точность диагностики обонятельных нарушений.

Список литературы: 1. *Huart, C.* Plasticity of the Human Olfactory System: The Olfactory Bulb / C. Huart, P. Rombaugh, T. Hummel // *Molecules*. — 2013. — № 18, P. 11586-11600; doi:10.3390/molecules180911586. 2. *Телішевськ А. В.* Ідентифікація моделі медичної системи на базі нечіткої логіки / А. В. Телішевськ, А. І. Поворознюк // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. — Харків: НТУ «ХПІ», 2013. — № 39(2012). — С. 177–181. 3. *Мельник К.В.* Процедура диагностирования состояния сердечнососудистой системы пациента на основе нечеткой логики / Мельник К.В., Голоскоков А.Е. // Вестник НТУ «ХПІ». Тематический выпуск: Информатика и моделирование — Харьков: НТУ «ХПІ», — 2008. — № 49. — С. 101 — 104. 4. *З де Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. З де. — М.: Мир, 1976. — 166 с. 5. *Phuong N.* Fuzzy logic and its applications in medicine / N. Phuong, V. Kreinovich. // Proc. of Asian Pacific Medical Informatics Conference APAMI-MIC'2000; Hong Kong — 27-30 September 2000. — P. 1–11. 6. *Змковой В.С.* Учет лингвистических переменных при создании систем объективной медицинской диагностики / Змковой В.С., Мустецов Т.Н. // Вестник национального технического университета «ХПИ». — 2006, Вып.23. — С.67-74. 7. *Sharma J.* Fuzzy Logic based Odour Classification System in Electronic Nose / Jayeeta Sharma, Amlan Jyoti Bhagawati, Riku Chutia // *International Journal of Computer Applications* (0975 — 8887) Volume 78 — No.15, September 2013 pp. 18-21 DOI:10.5120/13599-1347. 8. *Абизов Р. А.* Нарушения функций обонятельного анализатора и практические аспекты методики их исследования и дальнейшей тактики ведения таких пациентов / Р. А. Абизов, Ю. Д. Павлишин. // СЕМЕЙНАЯ МЕДИЦИНА №4 (48). — 2013. — С. 100–102. 9. Пристрій для тестування респіраторних порушень нюху: пат. 110452 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01) / Аврунін О.Г., Журвльов А.С., Шушляпін Н.О., Носов Я.В., Фрук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. — № 201500603; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл.№11 — 4с. 10. Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень: пат. 110453 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01) / Аврунін О.Г., Журвльов А.С., Шушляпін Н.О., Носов Я.В., Фрук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. — № 201500604; заявл. 26.01.2015; опубл. 25.05.2015, Бюл.№10 — 2 с. 11. *Штовб С.Д.* Идентификация нелинейных зависимостей

с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С.Д. Штовб // *Exponenta Pro*. Математика в приложениях. — М.: Softline, 2003. — № 2. — С. 9–15. 12. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ Петербург, 2005. — 736 с. 13. *Бурцев М. В.* Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решении проблемы / М. В. Бурцев, А. И. Поворознюк // Вестник Нц. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Тем. вып.: Информатика и моделирование. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. — № 31. — С. 10-15.

Resume

Y.V. Nosova

ON THE QUESTION OF FORMALIZING THE DIAGNOSIS OF OLFACTORY DISORDERS

Background: To date, there are many methods for testing the sense of smell, but there is no single universally accepted universal method due to a number of difficulties associated with the formalization of the subjective component of the process of diagnosing abnormalities in the olfactory analyzer. In connection with this, there is a need to develop new approaches to the diagnosis of olfactory disorders, which will increase the objectivity of diagnosis.

Materials and methods: To achieve the stated goals and objectives, studies were conducted using a device for testing respiratory odor disorders, developed at the Department of Biomedical Engineering. Methods of fuzzy logic were also used.

Results: The experimental results showed that for a sample consisting of 220 patients, the developed model of fuzzy inference with the degree of impairment of the olfactory function confirmed the diagnoses for 201 patients.

Conclusion: The process of perception of a person's smell is presented in the form of a fuzzy logic structure: it is suggested to use three input and one output linguistic variables, a base of rules for fuzzy products is formulated, and a model of fuzzy logical inference "Olfactometry" is developed. The classification of the degree of impaired odor perception is suggested, it is established that almost complete dysosmia occurs when the energy E exceeds 16 J. The accuracy of the classification of the assessment of the degree of violations of the human olfactory function was calculated on the basis of the fuzzy inference model and was 92%.

Поступил в редколлегию 16.10.2017

ОБ АВТОРАХ

Бізюк Андрій В лерійович	132	к ндид т технічних н ук, доцент, доцент к федри меді систем і технологій, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Бізюк К терин Андріївн	132	м гістр нтк к федри меді систем і технологій, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Брюховецький Олекс ндр Борисович	92	к ндид т технічних н ук, інженер, Центр контролю космічного простору Н ціон льного центру упр вління т випробув ння космічних з собів, м. Київ
Вовк Олекс ндр Володимирович	138	к ндид т технічних н ук, доцент, доцент к федри меді систем і технологій, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Гонч ренко Антон Сергійович	99	студент к федри інформ тики, Н ціон льний ерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Горяч Веронік Олекс ндрівн	84	спір нтк к федри інформ тики, Н ціон льний ерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Гребеннік Ігор В лерійович	26	доктор технічних н ук, професор, з в. к федри системотехніки, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Григор'єв Ольг Володимирівн	143	ст рший викл д ч к федри інженерії вбудов них систем упр вління, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Григорьев Олекс ндр Вікторович	143, 148	к ндид т технічних н ук, доцент, доцент к федри меді систем і технологій, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Дмитренко Ан ст сія Ігорівн	158	студент к федри меді інженерії т інформ ційних р діоелектронних систем, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Євдокімов Андрій Ан толійович	119	к ндид т технічних н ук, доцент, доцент к федри геоінформ ційних систем, оцінки землі т нерухомості, Х рківський н ціон льний університет міського господ рств ім. О. М. Бекетов
З верух Ольг Ігорівн	50	студентк к федри прикл дної м тем тики, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
З соб Євген	106	систент к федри систем штучного інтелекту, Н ціон льний університет «Львівськ політехнік »
К мінський Ром н Микол йович	106	доктор технічних н ук, професор, професор к федри інформ ційних систем т мереж, Н ціон льний університет «Львівськ політехнік »
К рт шов Олексій Вікторович	31	к ндид т фізико-м тем тичних н ук, доцент, доцент к федри інформ тики, Н ціон льний ерокосмічний університет ім.М.Є.Жуковського «Х рківський ві ційний інститут»
Коробчинський Кирило Петрович	31	ст рший викл д ч к федри інформ тики, Н ціон льний ерокосмічний університет ім.М.Є.Жуковського «Х рківський ві ційний інститут»
Костенко Олекс ндр Борисович	126	к ндид т фізико-м тем тичних н ук, доцент к федри прикл дної м тем тики і інформ ційних технологій, Х рківський н ціон льний університет міського господ рств ім. О. М. Бекетов .
Кульмінський Андрій Костянтинович	177	студент к федри прогр мної інженерії, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки
Л новий Олексій Феліксович	177	к ндид т технічних н ук, доцент, доцент к федри прогр мної інженерії, Х рківський н ціон льний університет р діоелектроніки

Левикін Віктор Миколайович	77	доктор технічних наук, професор, з відзнакою кафедри інформатичних управлюючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки
Литвин Олег Миколайович	37, 56, 61, 66	доктор фізико-математичних наук, професор, з відзнакою кафедри вищої та прикладної математики, Український інженерно-педагогічний центр
Литвин Олег Олегович	37, 66	доктор фізико-математичних наук, декан технологічного факультету, Український інженерно-педагогічний центр
Литвиненко Олександр Сергійович	26	магістр кафедри системотехніки, Харківський національний університет радіоелектроніки
Мокон Оксана Олегівна	138	магістр кафедри медіа систем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Монков Володимир Павлович	119, 132	кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри медіа систем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Монков Наталія Олегівна	119, 126	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики і інформатичних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
Молчанов Наталія Олександрівна	143	студентка кафедри медіа систем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Мочур Леся Ігорівна	72	системний інженер-новаторський інститут підприємств та перспективних технологій національного університету «Львівський політехнік»
Мурдов Вюся Худширкіз	169	спірнак, старший викладач кафедри природничих наук, Харківський національний університет радіоелектроніки
Нізір Тетяна Олександрівна	126	спірнак кафедри прикладної математики і інформатичних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
Носов Ян Віталійович	183	спірнак кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки
Омров Мурданверович	164, 169	доктор технічних наук, професор, професор кафедри природничих наук, Харківський національний університет радіоелектроніки
Панкратов Олександр Вікторович	19	доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу математичного моделювання, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
Пісничук Валентин Олексійович	56	кандидат технічних наук, доцент кафедри дизайну та одягу, Харківський державний центр дизайну і мистецтв
Погорелов Артем Віталійович	92	спірнак кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки
Романов Тетяна Євгенівна	19	доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу математичного моделювання, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
Савенюк Володимир Євгенович	92	доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформатичних управлюючих систем і технологій, Ужгородський національний університет
Сидоров Максим Вікторович	43, 50	кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки
Славик Олексій Валерійович	56	спірнак кафедри вищої та прикладної математики, Український інженерно-педагогічний центр
Стоян Юрій Євгенович	19	спірнак відділу математичного моделювання, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Супрун Олександр Олександрович	158	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медіа інженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Титов Кирило Юрійович	113	спірна кафедра штучного інтелекту, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Тих Тетяна Вікторівна	164	спірна кафедра, старший викладач кафедри природничих наук, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Ткаченко Володимир Пилипович	138	кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри медіа систем і технологій, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Томашов Ірина Сергіївна	61	спірна кафедра вищої та прикладної математики, Український інженерно-педагогічний центр
Угрюмов Михайло Леонидович	84	доктор технічних наук, професор кафедри інформації, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Удовенко Сергій Григорович	92	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформації та комп'ютерної техніки, Хмельницький національний економічний університет ім. С. Кузнеця
Усольцев Олександр Олександрович	158	студент кафедри медіа інженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Хурдей Євгенія Леонідівна	66	системна кафедра вищої та прикладної математики, Український інженерно-педагогічний центр
Цемистро Роман Іванович	169	кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри природничих наук, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Циганенко Ірина Іванівна	119	спірна кафедра прикладної математики і інформаційних технологій, Хмельницький національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
Чалі Оксана Вікторівна	77	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управління систем, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Чеканов Ігор Олегович	148	спірна кафедра медіа систем і технологій, Хмельницький національний університет радіоелектроніки
Черныш Сергей Викторович	84	спірна кафедра інформації, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Чорна Олена Сергіївна	37	системна кафедра вищої математики, Національний технічний університет «Хмельницький політехнічний інститут»,
Чумченко Дмитро Ігорович	99	кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформації, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Хмельницький вісний інститут»
Шиховський Наталія Богданівна	106	доктор технічних наук, професор кафедри систем штучного інтелекту, Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний університет «Львівська політехніка»
Широков Володимир Анатолійович	3	доктор технічних наук, професор, член НАНУ, директор Українського мовно-інформаційного фонду НАНУ, м. Київ
Яковлев Сергій Всеволодович	31	доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформації, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Хмельницький вісний інститут»
Яловега Ірина Георгіївна	50	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математики, Хмельницький національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди

ПРАВИЛА оформлення рукописів для авторів науково-технічного журналу «БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ»

Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту» приймає до друку рукописи спеціально для нього оригінальні рукописи, які ретельніше ніде не друкувалися. Структура рукопису повинна бути такою: індекс УДК, відомості про авторів, згодовані, короткі, ключові слова, вступ, основний текст статті, висновки, список використаної літератури, резюме англійською мовою.

Відповідно до Постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 (Бюлетень ВАК, №1, 2003, с. 2), стаття повинна містити такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; короткі опис досліджень і публікацій і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми в даній області; формулювання цілей та завдань дослідження; виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Стаття має бути виконана в редакторі Microsoft Word. Формат сторінки – А4 (210×297 мм), поля: верхнє – 25 мм, нижнє – 20 мм, ліве, праве – 17 мм. Кількість колонок – 2, з інтервалом між ними 5 мм, основний шрифт Times New Roman, кегль основного тексту – 10 пунктів, міжрядковий інтервал – множник (1,1), безцільний відступ – 6 мм. Обсяг рукопису – від 6 до 15 сторінок (мови: російськ, українськ, англійськ).

УДК друкується з першого рядка, без відступів, вирівнювання по лівому краю.

ПІБ автор (-ів), назва статті, назва джерела (учбового з колекції) необхідно надати повністю російською, українською та англійською мовами.

Назва статті друкується прописними літерами; шрифт прямий, напівжирний, кегль 12.

Назви розділів нумеруються російськими цифрами, виділяються жирним шрифтом. Відступи для назви статті, ініціалів та прізвищ авторів, відомостей про авторів, назви розділів, вступу та висновків, списку літератури: зверху – 6 пт, знизу – 3 пт.

Стаття повинна починатися з *нотції* російською, українською та англійською мовами обсягом 50–100 слів. У тексті *нотції* відзначається актуальність, постановка проблеми, шляхи вирішення проблеми, результати та висновки (без цитат 4–10 рядків, кегль 9).

Після кожної *нотції* надходять *ключові слова* мовою *нотції* (4–10 слів з тексту статті, які з точки зору інформаційного пошуку несуть змістовне навантаження, через кому внаслідок відмінку, кегль 9) (див. приклад оформлення статті).

Рисунки та таблиці (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумеруються російськими цифрами наскрізною нумерацією з наявності більше ніж одного об'єкта. Невеликі схеми, що складаються з 3–4 елементів виконують, використовуючи вставку об'єкта. Рисунок Microsoft Word. Більшість складні виконують у графічних редакторах у вигляді чорно-білих графічних файлів форматів .tif, .jpg, .wmf, .cdr із розділенням 300 dpi. Рисунки мають міститися у текстовому файлі й обов'язково подати окремими файлами з відповідними назвами (наприклад, рис1.jpg).

Усі елементи рисунка, включаючи написи, повинні бути згруповані. Усі написи в рисунку і в таблицях мають бути виконані шрифтом Times New Roman, кегль у рисунку – 10, у таблицях – 9.

Рисунок повинен мати центрований підпис (позначення рисунку), шрифт 9, відступи зверху і знизу по 6 пт. Ширина рисунка є відповідною ширині колонки (до ширини сторінки).

Формули, символи, змінні повинні бути набрані в редакторі формул MathType. Формули розміщують посередині рядка й нумерують з наявності посилання на них у рукописі. Шрифт – Times New Roman. Висота змінної – 10 пунктів, великих і малих індексів – 8 пт, основний математичний символ – 12 (10) пт. Змінні, позначені латинськими літерами, набрані курсивом, грецькі літери, скорочення російських слів і цифри – прямим написанням. Змінні, які є в тексті, також набрані у редакторі формул.

Список літератури вміщує опубліковані джерела, на які є посилання в тексті (приняті третину тих, що включено до науково-метричних баз (наприклад, SCOPUS)), укладені у відповідні дужки, друкують з загальним номером списком, кегль 9 пт, відступ зверху – 6 пт.

Резюме. Обов'язково треба підготувати розгорнуте резюме англійською мовою (0,5–1 сторінки, Times New Roman, кегль – 9) з російським перекладом.

Структура резюме: ПІБ автор (-ів), назва статті англійською мовою. Текст: Background: позначється історія питання, похідні дані; Materials and methods: методи; Results: результати роботи; Conclusion: висновки.

Після резюме з відступом зверху 6 пт знаходяться дані про автора статті до редакції. Число та місяць надання двозначними числами через крапку. Розмір шрифту – 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

Розом із рукописом (накресленням білого перу) формату А4 щільністю 80–90 г/м², надрукований на лазерному принтері, у 2-х примірниках необхідно подати такі документи:

1. З'ясувати веденням зразком, яку повинні підписати всі автори:

«Прошу прийняти статтю(зазначити прізвище авторів, назву статті) обсягом сторінок (вказати кількість сторінок) для опублікування в науково-технічному журналі «Біоніка інтелекту». Оплату гарантуємо.

Відомості про авторів: (вказати прізвище, ім'я та по батькові, місце роботи, вчений ступінь, наукове звання, контактний телефон, поштову та електронну адресу).

Підписи авторів».

2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друці (для співр. ХНУРЕ).

3. Рецензію, підписану доктором наук.

4. Відомості про авторів.

5. Електронний варіант рукопису, реферату відомостей про авторів.

6. Оплату за публікацію.

Необхідно також вказати один з наукових тематичних розділів, якому відповідє рукопис:

1. Теоретичні основи інформатики та кібернетики. Теорія інтелекту.

2. Математичне моделювання. Системний аналіз. Прийняття рішень.

3. Інтелектуальна обробка інформації. Розпізнавання об'єктів.

4. Інформаційні технології та програмно-технічні комплекси.

5. Структурна, прикладна та математична лінгвістика

6. Дискусійні повідомлення.

АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Проведено аналіз алгебро-логічної структури природної мови. Розглянуто концептуально-методологічний підхід до мови людини, що дозволяє сприймати її як деяку алгебру, її тексти — як формули цієї алгебри.

МОВА ПРИРОДНА, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТИВ, ВІДНОШЕННЯ, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТНИХ ОПЕРАЦІЙ

Четвериков Г.Г., Вечирская И.Д. Алгебро-логические средства моделирования естественного языка. Проведен анализ алгебро-логической структуры естественного языка. Рассмотрен концептуально-методологический подход к языку человека, что позволяет воспринимать его как некоторую алгебру, ее тексты — как формулы этой алгебры.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЯЗЫК, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТОВ, ОТНОШЕНИЯ, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Chetverikov G.G., Vechirska I.D. Algebra-logical methods of natural language modeling. The analysis of the algebra-logical structure of natural language is performed. The conceptual-methodological approach to human language is considered, which allows perceiving it as some algebra, and its texts as a formula of this algebra.

NATURAL LANGUAGE, ALGEBRA OF PREDICATES, RELATIONS, ALGEBRA OF PREDICATE OPERATIONS

Вступ

Формальним моделям семантико-синтаксичних структур мови відводиться вирішальна роль у сучасній проблематиці комп'ютерної лінгвістики та систем штучного інтелекту (ШІ). Це пов'язано з необхідністю створення програмного комплексу генеративної та лінійної речень природної мови (ПМ).

1. Дослідження алгебро-логічної структури природної мови

У роботі використовується поняття алгебри предикатів [1]. Множини U може бути як скінченною, так нескінченною. У першому випадку простір U^m нивитимемо скінченним, в іншому — нескінченним.

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_n) \notin T \\ 1, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in T. \end{cases} \quad (1)$$

Згідно з (1) можливий перехід від будь-якого відношення T до відповідного йому предикату P . Предикат P , що знаходимо по (1), нивитимемо характеристичною функцією відношення T .

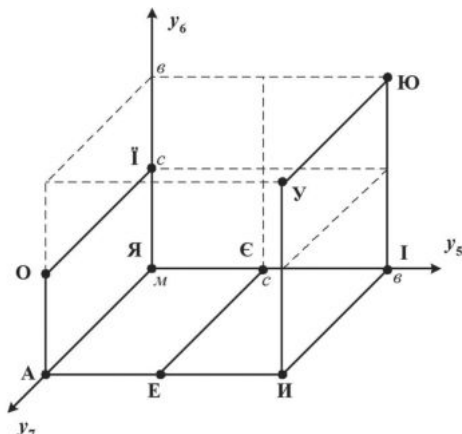


Рис. 1. Тривимірний простір ознак для голосних фонем

2. Шляхи втомтизації обробки мовної інформації

Уданий час в системах штучного інтелекту машинний словник та комплекс програм (тезисно) використовуються, як правило, для виконання будь-якої однієї функції.

Висновки

У статті запропоновано узагальнену структуру інтелектуальної системи, як відповідь на нові інформаційні технології рішення задач ЕОМ, що орієнтовані на досягнення високорівневої технології обробки мовної інформації (отримання нової якості). Істотно новим в роботі є розширення алгебри скінченних предикатів (АСП). Тепер вона охоплює не тільки скінченні предикати, та кож — нескінченні. Тепер об'єкти її рекомендованого з'єднання розширені та охоплюють довільні відношення, які далі будемо описувати з допомогою ДКАП.

Список літератури:

1. Мальцев А.И. Алгебраические системы. — М.: Наука, 1970. — 392 с.
2. Четвериков Г.Г., Дударь З.В., Вечирская И.Д. Дискретные структуры. — Харьков: НУРЕ, 2015. — 322 с.
3. Митлинер В.П., Шляхов В.В., Яковлев С.В. Групповые структуры и фактор-множества в задачах классификации // Кибернетика и системный анализ. — 2014. — №4. — с. 27–42.

Resume

G.G. Chetverikov, I.D. Vechirska
ALGEBRA-LOGICAL METHODS
OF NATURAL LANGUAGE MODELING

Background: Formal models of semantic-syntactic structures of language are given a decisive role in the modern problems of computer linguistics and systems of artificial intelligence. This is due to the need to create a software and hardware complex for generation and analysis of natural language sentences. Automatic processing of natural language

an important part in the construction of artificial intelligence systems.

Materials and methods: Predicate algebra apparatus is used in this work. Finite and infinite sets are considered. According formulas described in this study, a transition from any relation T to corresponding predicate P is possible. In this case the predicate P found by formulas is the characteristic function of the relation T .

Results: The algebraic structure of the natural language is analyzed. The conceptual-methodological approach to human language is considered. This approach allows perceiving the language as some algebra, and its texts as a formulas of this algebra.

Conclusion: The article proposes a generalized structure of the intellectual system, which are oriented to the achievement of high-level technology of the processing of language information. Essentially new in the work is the expansion of algebra of finite predicates to infinite ones.

Г.Г. Четвериков, И.Д. Вечирск я

АЛГЕБРО-ЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Background: Формальные модели семантико-синтаксических структур языка играют решающую роль в современной проблематике компьютерной лингвистики

и систем искусственного интеллекта. Это связано с необходимостью создания программного и аппаратного комплекса для генерации и анализа предложений на естественном языке. Автоматический алгоритм естественного языка является важной составляющей в построении систем искусственного интеллекта.

Materials and methods: В этой работе используется аппарат предикатной алгебры. Рассмотрены конечные и бесконечные множества. Согласно формулам, описанным в этом исследовании, возможен переход от любого отношения T к соответствующему предикату P . В этом случае предикат P , найденный по формулам, является характеристической функцией отношения T .

Results: Выполнен анализ алгебраической структуры естественного языка. Рассмотрен концептуально-методологический подход к человеческому языку. Такой подход позволяет воспринимать язык как некоторую алгебру, ее тексты — как формулы этой алгебры.

Conclusion: В статье предлагается обобщенная структура интеллектуальной системы, ориентированная на достижение высокоуровневой технологии обработки языковой информации. Существенно новым в работе является расширение алгебры конечных предикатов на бесконечные.

Ндійшло до редколегії 15.02.2007

Наукове видання

БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ
інформація, мова, інтелект

Науково-технічний журнал

№ 2 (89)

2017

В.о. головного редактор — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний редактор — *І. Д. Вечірська*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою
Харківського національного університету з радіоелектроніки
(протокол № 17 від 20.12.2017 р.)

Адрес редакції:

Україна, 61166, Харків-166, просп. Науки, 14,
Харківський національний університет з радіоелектроніки, к. 127
тел. 702-14-77, факс 702-10-13,
e-mail: ira_se@list.ru

Підписано до друку 20.12.2017. Формат 60 × 84 1/8. Друк ризографічний.
Папір офсетний. Гарнітур Newton. Умов. друк. арк. 22,3. Обл.-вид. арк. 22,0.
Тираж 100 прим.

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Науки, 14.