

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

"Информатика и моделирование", № 15

31'2010

Издание основано Национальным техническим университетом "Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание

Свидетельство Госкомитета по
информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л. Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.;

Л.М. Бесов, д-р ист. наук, проф.;

А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;

Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.;

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.;

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.;

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.;

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.;

В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.;

Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;

С.И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.;

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.;

В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.;

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.;

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.;

Е.В. Рогожкин, д-р техн. наук, проф.;

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.;

М.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

С.Ю. Леонов, канд. техн. наук, доц.

А.Г. Гурин, д-р техн. наук, проф.;

Л.В. Дербунович, д-р техн. наук, проф.;

Е.Г. Жилияков, д-р техн. наук, проф.;

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

Н.И. Корсунов, д-р техн. наук, проф.;

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;

И.И. Обод, д-р техн. наук, проф.;

А.И. Овчаренко, д-р техн. наук, проф.;

А.А. Серков, д-р техн. наук, проф.

Адрес редколлегии: 61002, Харьков,
ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ".

Каф. ВТП, тел. (057)-707-61-65

Харьков 2010

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – № 31. – 203 с.

В збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку № 9 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого постановою президії ВАК України від 14 листопада 2001 року, № 2 – 05/9. (Бюлетень ВАК України № 6, 2001 р., технічні науки, збірники наукових праць, № 2) та "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. № 1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України № 6, 2010 р., стор. 3, № 20).

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол № 6 від 6 липня 2010 р.**

© Національний технічний університет "ХПІ"



125-летию

*НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧЕСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧЕСЬКИЙ
ІНСТИТУТ"*

и

50-летию

*КАФЕДРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ПРОГРАММИРОВАНИЯ
ПОСВЯЩАЮТСЯ*

В.Н. БАЛАБАНОВ, аспирант ДонНТУ (г. Донецк)

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ МЕТОД РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАСКРОЕВ РУЛОННОЙ СТАЛИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТРУБ

В статье рассматривается задача рационального раскроя рулонов, возникающая в производстве электросварных труб. Предлагается многокритериальная модель, которая кроме потерь рулонного материала в отход позволяет учитывать производственные потери и ряд важных технологических ограничений. Разработан приближенный метаэвристический метод решения раскройной задачи, использующий аппарат эволюционных вычислений. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: рациональный раскрой, многокритериальная модель, метаэвристический метод, эволюционные вычисления.

Постановка проблемы. Рулонные материалы широко применяются в металлургической, целлюлозно-бумажной, текстильной, химической и многих других отраслях промышленности. В большинстве случаев такая форма отгрузки определяется технологией производства материала, кроме того, это позволяет снизить издержки на его складское хранение и транспортировку. Примером производства, в котором применяется рулонный материал, является выпуск электросварных прямошовных труб, изготавливаемых из сталей различных марок, отличающихся химическим составом и механическими свойствами. В качестве исходной трубной заготовки при этом используется узкая стальная лента, получаемая в результате раскроя рулонов на линиях продольной резки [1].

Ведутся исследования, направленные на улучшение работы отдельных агрегатов электротрубосварочных станков и совершенствование технологии производства в целом, однако выпуск труб, по-прежнему, характеризуется значительной материалоемкостью. Одна из принципиальных возможностей для повышения эффективности использования материала заключается в рациональном планировании продольного раскроя рулонов. Для составления рационального плана раскроя требуется решить многокритериальную задачу дискретной оптимизации комбинаторного типа, при этом необходимо учитывать ряд существенных технологических ограничений, налагаемых особенностями конструкции отдельных агрегатов линий продольной резки.

Анализ литературы. Многие практические задачи рационального раскроя можно отнести к задачам многокритериальной оптимизации – эффективность всякого реального производства, в том числе и раскройного, зависит от множества факторов, хотя не все они являются одинаково значимыми. В подавляющем большинстве работ по данному направлению используется классическая модель с единственным критерием (обозначим его как z_1) – при составлении плана раскроя минимизируют потери (часть

материала, которая идет в отход и не может быть повторно использована) или общий расход раскраиваемого материала. Определенное распространение получили бикритериальные модели, значительно реже встречаются работы, в которых совместно рассматривается более двух различных критериев [2 – 4].

При рассмотрении задачи рационального планирования продольных раскроев рулонного материала в дополнение к критерию z_1 вводится второй критерий z_2 для минимизации производственных потерь за счет повышения технологичности планов раскроя: предпочтение отдается таким планам, при выполнении которых необходимость в переналадке отдельных агрегатов линии продольной резки исключается вовсе или же сводится к минимуму. Известно, что при составлении плана раскроя выигрыш по потерям материала в отход приводит к проигрышу по технологичности и требует выполнения большего числа переналадок, т.е. критерии z_1 и z_2 по своей природе являются противоречивыми [5, 6]. При составлении плана раскроя требуется отыскать компромисс, который формально описывается векторным критерием (1)

$$Z = (z_1, z_2) . \quad (1)$$

Один из наиболее популярных подходов, применяемых при решении бикритериальных задач рационального раскроя, основан на сведении исходной многокритериальной задачи к однокритериальной за счет замены векторного критерия (1) скалярным произведением (2) [2, 3, 7]

$$Z^* = C_1 z_1 + C_2 z_2 . \quad (2)$$

С помощью коэффициентов C_1 и C_2 потери материала в отход и потери производственного характера (простой в работе линии продольной резки, необходимые для переналадки раскройного оборудования) сводятся к единому эквиваленту. Данный подход обладает рядом недостатков, поскольку точные значения весов C_1 и C_2 при решении практических задач рационального раскроя известны достаточно редко, кроме того, не во всех случаях величины C_1 и C_2 могут считаться константами [8]. Перспективным представляется иной подход, основанный на математическом аппарате Парето-оптимальных решений многокритериальных задач [9]. В последнем случае исключается необходимость в использовании коэффициентов C_1 и C_2 , что делает метод решения задачи рационального раскроя более универсальным. Окончательный выбор плана раскроя из множества эффективных (компромиссных) решений осуществляется мастером или технологом, который при этом руководствуется собственными предпочтениями и опытом.

Цель данной статьи заключается в разработке математической модели и приближенного эволюционного метода для аппроксимации множества Парето-оптимальных решений многокритериальной задачи составления рациональных планов продольного раскроя рулонной стали в производстве электросварных прямошовных труб малого и среднего диаметра.

Построение математической модели. В качестве отправной точки для формализации задачи рационального планирования продольных раскроев рулонов воспользуемся моделью, впервые предложенной Канторовичем [10]. Допустим, исходный материал представлен перечнем из m рулонов, каждому из которых присваивается уникальный порядковый номер i . Обозначим пригодную к использованию длину материала как L_i (рулонам с одинаковыми размерами соответствуют различные значения индекса i). Для каждого из n заказов на ленту указывается общая длина l_j , набираемая из отдельных полос шириной w_j . Предполагается, что материала достаточно для выполнения заказов на ленту в полном объеме. Раскройная карта определяет ширину, количество, а иногда и непосредственно размещение (порядок следования) полос, на которые разрезается рулон. Пусть количество полос шириной w_j , полученных при раскрое рулона по карте с номером k , равняется a_{jk} . Установим связь между рулонами и раскройными картами с помощью булевых переменных T_{ik} :

$$T_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если рулон } i \text{ раскраивается по способу } k, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Если допустить, что все возможные раскройные карты перечислены, то первый оптимизационный критерий, соответствующий рациональному использованию рулонов при соблюдении ограничения на комплектность продольного раскроя, принимает следующий вид:

$$z_1 = \min \sum_k \sum_i T_{ik}; \quad (3)$$

$$\sum_k \sum_i T_{ik} a_{ik} L_i \geq l_j \quad \forall j; \quad (4)$$

$$\sum_k T_{ik} \leq 1 \quad \forall i; \quad (5)$$

$$\sum_j a_{jk} \leq H \quad \forall k; \quad (6)$$

$$i \in \{1, \dots, m\}, \quad j \in \{1, \dots, n\}, \quad k \in \{1, \dots, P\}.$$

Если условие (5) запрещает многократный раскрой одних и тех же рулонов, то условие (6) ужесточает требования, выдвигаемые к раскройным картам. Допустимыми считаются только такие раскройные карты, общее количество полос в которых не превышает величину H . Данный параметр рассчитывается исходя из характеристик раскройного оборудования.

Необходимость в переналадке оборудования возникает в том случае, если по плану рулоны раскраиваются различными способами: после раскроя

очередного рулона часть агрегатов линии продольной резки требуется настроить на следующую раскройную карту. Данная операция является трудоемкой, поэтому оптимальным по критерию z_2 будет решение, в котором многократно используется единственная раскройная карта. В худшем случае количество различных карт, составляющих план, будет равняться количеству раскраиваемых рулонов (рассуждения ведутся для случая $\sum_k \sum_i T_{ik} > 1$, когда по найденному плану раскраивается более одного рулона). Формализуем задачу минимизации общего количества различных карт в составляемом плане раскроя, воспользовавшись вспомогательной функцией $\delta(\sum_i T_{ik})$:

$$z_2 = \min \sum_k \delta(\sum_i T_{ik}), \quad (7)$$

$$\delta(\sum_i T_{ik}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_i T_{ik} > 0, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Однокритериальные задачи рационального раскроя являются NP-полными задачами дискретной оптимизации комбинаторного типа и относятся к классическим задачам исследования операций. Для одномерного раскроя доказано, что самостоятельная задача минимизации общего числа различных карт при заданном плане раскроя также является NP-полной [11]. Учитывая сложность многокритериальной задачи (3) – (7), предлагается разработать приближенный метаэвристический метод, который может быть эффективно использован для составления рациональных планов продольного раскроя рулонов, полностью удовлетворяющих требованиям реального производства.

Эволюционный метод. Общее количество допустимых раскройных карт в практических задачах рационального раскроя может исчисляться десятками и даже сотнями тысяч различных вариантов. Поиск оптимального решения с генерацией всех возможных раскройных карт и последующим перебором их комбинаций оказывается трудноразрешимой задачей. Опытный планировщик при составлении плана раскроя вручную использует иной подход – он также осуществляет перебор различных вариантов, но вместо тысяч раскройных карт оперирует некоторым ограниченным перечнем, который дополняется новыми элементами по мере надобности. Качество найденного таким образом решения зависит от навыков планировщика, однако в большинстве случаев этот подход работает достаточно успешно.

Схожая стратегия ранее была реализована нами в приближенном методе решения задачи (3) – (7) в работе [7]. Векторный критерий (1) был заменен на скалярное произведение (2), для генерации новых раскройных карт решалась вспомогательная задача о ранце, перебор вариантов (объединение раскройных карт в план раскроя) выполнялся с помощью одного из методов эволюционных

вычислений – генетического алгоритма. Планы раскроя преобразовывались в хромосомы таким образом, что каждый элемент последовательности – ген – представлял собой отдельную раскройную карту, использовался стандартный одноточечный кроссовер, мутация изменяла структуру решений посредством удаления случайно выбранных генов.

К популяционным метаэвристикам помимо эволюционных относят также муравьиные и роевые алгоритмы. Данная группа методов отличается тем, что на каждой итерации алгоритм параллельно работает с несколькими текущими решениями (в зависимости от разновидности алгоритма этот набор называется популяцией, колонией или роем). Если в таких методах как поиск с запретами или имитация отжига для аппроксимации множества решений оптимальных по Парето требуется дополнительно использовать внешний архив или повторные запуски, то в популяционных метаэвристиках вычисления распараллеливаются естественным образом.

Данная работа развивает метаэвристический подход, предложенный в [7]: теперь исходная многокритериальная задача не сводится к однокритериальной – вместо поиска единственного плана раскроя аппроксимируется множество компромиссных решений, которые в пространстве оценок образуют так называемый фронт Парето. Схема кодирования решений, операторы скрещивания и мутации были оставлены в прежнем виде, потребовалось существенно изменить лишь способ оценивания приспособленности хромосом и дополнить генетический алгоритм специальным механизмом "краудинга", который позволяет аппроксимировать фронт Парето более равномерно [12].

Выводы. В данной статье было рассмотрено построение математической модели для задачи составления рациональных планов продольного раскроя рулонного материала, возникающей в производстве электросварных труб. В результате анализа технологического процесса продольного раскроя модель Канторовича подверглась существенной переработке: сформулирован второй оптимизационный критерий и введены дополнительные ограничения для раскройных карт.

Предложенные модификации в структуре генетического алгоритма [7] позволили сделать исходный эволюционный метод более универсальным при сохранении общих принципов его работы и незначительном увеличении вычислительной сложности. Дальнейшая работа может быть направлена как на уточнение математической модели за счет введения новых критериев и ограничений, так и совершенствование методов решения вспомогательной задачи генерации раскройных карт и собственно генетического алгоритма.

Список литературы: 1. *Шевакин, Ю. Ф.* Производство труб: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. 150106 (110600) – "Обработка металлов давлением" / *Ю.Ф. Шевакин, А.П. Коликов, Ю.Н. Райков; под ред. Ю.Ф. Шевакина.* – М.: "Интермет Инжиниринг", 2005. – 564 с. 2. *Schilling G.* An algorithm for the determination of optimal cutting patterns / *G. Schilling, M.C. Georgiadis* // *Computers & Operations Research.* – 2002. – Vol. 29. – № 8. – P. 1041–1058. 3. *Belov G.* Setup and open-stacks minimization in one-dimensional stock cutting / *G. Belov,*

G. Scheithauer // *INFORMS Journal on Computing*. – 2007. – Vol. 19. – № 1. – P. 27–35. 4. Munoz C. Improving cutting-stock plans with multi-objective genetic algorithms / C. Munoz [et al.] // *Bio-inspired modeling of cognitive tasks: Proceedings of the second international work-conference on the interplay between natural and artificial computation, IWINAC 2007, Part I (La Manga del Mar Menor, Spain, June 18–21, 2007)* / ed. by J. Mira, J.R. Alvarez. – Berlin [etc.]: Springer-Verlag, 2007. – P. 528–537. 5. Foerster H. Pattern reduction in one-dimensional cutting stock problems / H. Foerster, G. Wascher // *International Journal of Production Research*. – 2000. – Vol. 38. – № 7. – P. 1657–1676. 6. Cui Y. A heuristic for the one-dimensional cutting stock problem with pattern reduction / Y. Cui [et al.] // *Journal of Engineering Manufacture*. – 2008. – Vol. 222. – № 6. – P. 677–685. 7. Балабанов В.Н. Многокритериальная задача рационального планирования продольного раскроя рулонного материала [Электронный ресурс] / В.Н. Балабанов // *Проблемы информационных технологий*. – 2009. – № 2 (006). Режим доступа к журналу: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/pit/2009_2/balab.htm. 8. Moretti A. C. Nonlinear cutting stock problem model to minimize the number of different patterns and objects / A. C. Moretti, L. L. de Salles Neto // *Computational & Applied Mathematics*. – 2008. – Vol. 27. – № 1. – P. 61–78. 9. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с. 10. Канторович Л.В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л.В. Канторович, В.А. Залгаллер. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Наука, 1971. – 299 с. 11. McDiarmid C. Pattern minimisation in cutting stock problems / C. McDiarmid // *Discrete Applied Mathematics*. – 1999. – Vol. 98. – № 1–2. – P. 121–130. 12. Deb K. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II / K. Deb [et al.] // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. – 2002. – Vol. 6. – № 2. – P. 182–197.

Статья представлена д.т.н., проф. ДонНТУ Скобцовым Ю.А.

УДК 519.854.2

Еволюційний метод раціонального планування розкроїв рулонної сталі у виробництві електроварних труб / Балабанов В.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 4–9.

У статті розглядається задача раціонального розкрою рулонів, що виникає у виробництві електроварних труб. Пропонується багатокритеріальна модель, яка окрім втрат рулонного матеріалу у відхід дозволяє враховувати виробничі втрати і ряд важливих технологічних обмежень. Розроблено наближений метаевристичний метод розв'язання розкрійної задачі, що використовує апарат еволюційних обчислень. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: раціональний розкрій, багатокритеріальна модель, метаевристичний метод, еволюційні обчислення.

UDC 519.854.2

Evolutionary approach for roll trim planning in production of electric-welded pipes / Balabanov V.N. // *Herald of the National Technical University "KhPI"*. Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 4–9.

This paper is concerned with roll trim problem in production of electric-welded pipes. Proposed model with vector criteria allows us to take into account not only trim waste but also production losses and a number of important technological constraints. To cope with this multiobjective one-dimensional cutting stock problem we developed efficient evolutionary-based metaheuristic method. Refs: 12 titles.

Key words: roll trim problem, model with vector criteria, metaheuristic method, evolutionary computation.

Поступила в редакцію 25.05.2010

М.В. БУРЦЕВ, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),

А.И. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ВЫБОР ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СИМПТОМОКОМПЛЕКСОВ В КОМБИНИРОВАННОМ РЕШАЮЩЕМ ПРАВИЛЕ

Рассмотрены классические функции принадлежности, используемые в системах, построенных на нечеткой логике. Обоснован выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов заболеваний, применяемых в комбинированном решающем правиле для системы поддержки принятия решений в медицине. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: функция принадлежности, нечеткая логика, симптомокомплекс, комбинированное решающее правило, система поддержки принятия решений.

Постановка проблемы и анализ литературы. Для описания экспертных оценок в комбинированном решающем правиле (КРП), основанном на объединении вероятностного метода Вальда и описания структуры симптомокомплексов [1], применяемого в медицинской системе поддержки принятия решений [2], предложено использование нечеткой логики [3, 4]. При таком подходе *существует проблема построения функций принадлежности* (ФП), выражающих соответствие значений диагностических признаков лингвистическим переменным, описывающим симптомокомплексы заболеваний. Данная проблема является более острой в случае отсутствия квалифицированного эксперта в данной предметной области.

Нечёткая логика и теория нечётких множеств – раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств. Понятие нечёткой логики было впервые введено профессором Лютфи Заде в 1965 году. В [5] понятие множества было расширено допущением, что функция принадлежности элемента к множеству может принимать любые значения в интервале $[0, 1]$, а не только 0 или 1.

Функция принадлежности нечёткого множества – обобщение индикаторной (или характеристической) функции классического множества. В нечёткой логике она представляет степень принадлежности каждого члена пространства рассуждения к данному нечёткому множеству. Степени принадлежности часто отождествляют с вероятностями, хотя они принципиально отличны. Тем не менее, вероятностные и нечеткие методы предназначены для решения одной и той же задачи классификации. Будучи полученными из разных предпосылок (статистика и мнение эксперта), они описывают общую проблему с различных позиций. Поэтому их совместное использование возможно и перспективно [1].

Согласно [6] выделяют следующие классы функций принадлежности:

- 1) *Функция принадлежности класса s* (рис. 1а) определяется как:

$$s(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ 2\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^2, & a \leq x \leq b, \\ 1-2\left(\frac{x-c}{c-a}\right)^2, & b \leq x \leq c, \\ 1, & x \geq c. \end{cases} \quad (1)$$

2) Функция принадлежности класса π (рис. 1б) определяется через функцию класса s :

$$\pi(x, a, b, c) = \begin{cases} s(x, c-b, c-\frac{b}{2}, c), & x \leq c, \\ 1-s(x, c, c+\frac{b}{2}, c+b), & x \geq c. \end{cases} \quad (2)$$

3) Функция принадлежности класса L (рис. 1в):

$$L(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a, \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 0, & x \geq b. \end{cases} \quad (3)$$

4) Функция принадлежности класса γ (рис. 1г) определяется по выражению:

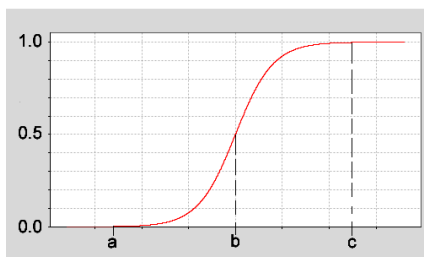
$$\gamma(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & x \geq b. \end{cases} \quad (4)$$

5) Функция принадлежности класса t (рис. 1д):

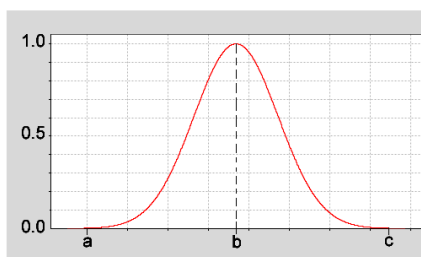
$$t(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 1, & x \geq c. \end{cases} \quad (5)$$

На основании классов γ и L может быть предложен обобщенный класс T , который представляет трапецию (рис. 1е):

$$T(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & c \geq x \geq b, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & x \geq d. \end{cases} \quad (6)$$



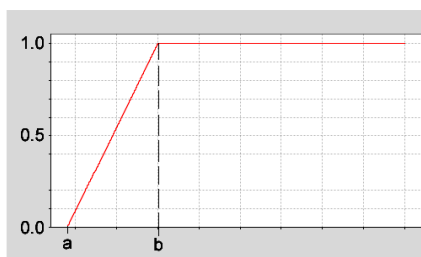
а)



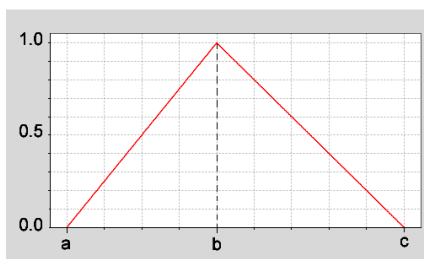
б)



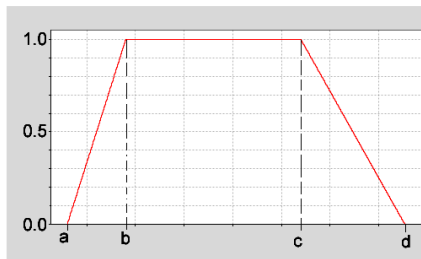
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Внешний вид функций принадлежности:
а) s класс; б) π класс; в) L класс; г) γ класс; д) t класс; е) T класс.

Целью статьи является обоснование выбора формы функций принадлежности для описания лингвистических переменных, представляющих симптомокомплексы заболеваний и применяемых в комбинированном решающем правиле.

Применение нечеткой логики в КРП. Так как разработанное КРП призвано реализовать процедуру постановки уточняющего диагноза [7] с использованием иерархической структуры [8], особенность применения

нечеткой логики заключается в отсутствии этапа дефазификации. Рассчитанные значения функций принадлежности, взвешенные коэффициентами, задающими значимость признака в симптомокомплексе заболевания, используются при вычислении отношения правдоподобия

$$\Omega = \prod_{j=1}^m \frac{h(x_j / D_q)}{h(x_j / D_w)}, \quad (7)$$

где $h(x_j / D_k)$ – сумма оценок вероятностной и нечеткой составляющих, рассчитанная по выражению

$$h(x_j / D_k) = k_1 P(x_{ji} / D_k) + k_2 \mu_1(x_j / D_k), \quad (8)$$

где $P(x_{ji} / D_k)$ – значение вероятности наличия признака x_j , попадающего в интервал τ_i , при диагнозе D_k , рассчитанное по обучающей выборке; $\mu_1(x_j / D_k)$ – взвешенное значение функции принадлежности, описывающей признак x_j при диагнозе D_k .

Выбор оптимальных функций принадлежности. Как известно из медицинских справочников [9, 10], врачи-специалисты чаще всего оперируют понятием нормы показателя, что выражается в разбивке динамического диапазона признака на три интервала: "ниже нормы", "норма", "выше нормы". По данным обучающей выборки для каждого диагноза D_k для всех признаков x_j определяется количество объектов, которые попадают в указанные интервалы (относительно нормы). Возможны ситуации:

1) Если максимальное количество объектов приходится на интервал "ниже нормы" ("выше нормы"), а интервал "выше нормы" ("ниже нормы") является пустым, то считается, что лингвистическая переменная, описывающая заданный признак x_j при диагнозе D_k соответствует терму "ниже нормы" ("выше нормы"), а внешний вид функции принадлежности отвечает некоторой кривой класса s , принимающей максимальное значение на интервале "ниже нормы" ("выше нормы") и плавно убывающей (возрастающей) на интервале "норма". Ситуация "выше нормы" соответствует рис. 1а.

2) Если же подавляющее большинство объектов (при заданных x_j и D_k) сосредоточенная в пределах "нормы", то возможно использование ФП t , π или T класса. При этом необходимо решить задачу выбора параметров ФП. Для этого можно применить один из алгоритмов: полный перебор значений параметров в допустимых пределах с некоторым шагом, случайный поиск с адаптацией, эволюционные или генетические алгоритмы [6].

Для выбора оптимальной функции принадлежности, описывающей состояние нормы, проведены исследования на данных клинического анализа

крови по 9 показателям для обучающей выборки (табл. 1), которая включает 434 объекта, представляющих 10 диагностируемых состояний.

Таблица 1. Структура обучающей выборки

Код диагноза по МКБ-10	Псевдоним	Количество человек
Здоров	D0	243
D64.9	D1	29
I42.9	D2	10
I25.9	D3	17
L95.9	D4	24
K81.1	D5	21
J18.9	D6	16
B27.9	D7	28
C91.1	D8	26
N18.9	D9	20
Всего		434

Для всех объектов обучающей выборки было применено КРП с $k_1 = 0$ (в выражении (8)), что соответствует применению аппарата нечеткой логики без учета вероятностной составляющей, с использованием различных классов ФП. Результаты приведены в табл. 2, где N_d – количество правильно классифицированных объектов.

Таблица 2. Результат работы нечеткой составляющей

Код диагноза по МКБ-10	Количество человек	Класс функции принадлежности					
		T		t		π	
		N_d	%	N_d	%	N_d	%
Здоров	243	129	53.08	8	3.29	146	60.08
D64.9	29	24	82.75	15	51.72	12	41.37
I42.9	10	1	10.00	3	30.00	5	50.00
I25.9	17	3	17.64	4	23.52	0	0.00
L95.9	24	24	100.0	9	37.50	15	62.50
K81.1	21	12	57.14	13	61.90	19	90.47
J18.9	16	6	37.50	5	31.25	6	37.50
B27.9	28	28	100.0	7	25.00	21	75.00
C91.1	26	22	84.61	6	23.07	17	65.38
N18.9	20	18	90.00	9	45.00	18	90.00
Всего	434	267	61.52	79	18.20	259	59.67

Из полученных данных следует, что наиболее предпочтительным является использование функций принадлежности класса T – трапеций, угол наклона боковых сторон которых зависит от величины среднеквадратического отклонения значения признака относительно коридора нормы в ту или иную сторону (выше/ниже нормы).

Выводы. Проведен анализ существующих функций принадлежности, применяемых в экспертных системах, основанных на использовании нечеткой логики. Обоснован выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в КРП для системы поддержки принятия решений в медицине.

Список литературы: 1. Бурцев М.В. Синтез комбинированного решающего правила в задаче медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 27 – 33. 2. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007. – 1152 с. 3. Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с. 4. Новак В. Математические принципы нечеткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкрож. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с. 5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с. 6. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. 7. Поворознюк А.И. Метод постановки уточняющего диагноза в компьютерных системах медицинской диагностики при иерархической структуре диагностических признаков / А.И. Поворознюк // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 3(9). – С. 125 – 130. 8. Поворознюк А.И. Синтез иерархической структуры диагностических признаков в компьютерных системах медицинской диагностики / А.И. Поворознюк // Вісник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ", 2003. – № 7. – Т. 2. – С. 39 – 44. 9. Справочник практического врача / Под ред. А.А. Михайлова, Л.И. Дворецкого. – М.: Новая Волна, 2001. – 528 с. 10. Справочник терапевта / Под ред. Ф.И. Комарова. – К.: Здоров'я, 1980. – 656 с.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ "ХПИ" Серковым А.А.

УДК 681.3

Вибір функцій приналежності для опису симптомокомплексів у комбінованому вирішальному правилі / Бурцев М.В., Поворознюк А.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 10 – 15.

Розглянуто класичні функції приналежності, що використовуються в системах, які побудовані на нечіткій логіці. Обґрунтовано вибір функцій приналежності для опису симптомокомплексів захворювань, що застосовуються у комбінованому вирішальному правилі для системи підтримки прийняття рішень в медицині. Іл.: 1. Табл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: функція приналежності, нечітка логіка, симптомокомплекс, комбіноване вирішальне правило, система підтримки прийняття рішень.

UDC 681.3

Choice of symptom complex description membership functions for combined decision rule / Burtsev M.V., Povorozhuk A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 10 – 15.

Classic membership functions using in fuzzy logic based systems was reviewed. Choice of symptom complex description membership functions for combined decision rule using in the medical support decision-making system was grounded. Figs.:1. Tabl.: 2. Refs: 10 titles.

Key words: membership function, fuzzy logic, symptom complex, combined decision rule, system of support decision-making.

Поступила в редакцію 25.05.2010

А.И. БЫХ, д-р. физ.-мат. наук, проф., зав. каф. БМЭ ХНУРЭ (г. Харьков),

Е.В. ВЫСОЦКАЯ, канд. техн. наук, доц. каф. БМЭ ХНУРЭ (г. Харьков),

А.П. ПОРВАН, научн. сотр. каф. БМЭ ХНУРЭ (г. Харьков),

Л.И. РАК, канд. мед. наук, научн. сотр. отделения педиатрии и реабилитации ГУ "Институт охраны здоровья детей и подростков АМНУ" (г. Харьков),

В.Г. АНТОНЕНКО, студент ХНУРЭ (г. Харьков),

Е.Е. БОЛИБОК, студент ХНУРЭ (г. Харьков),

О.А. СВАТЕНКО, студент ХНУРЭ (г. Харьков)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ У ПОДРОСТКОВ

В статье авторами предлагается диагностическая модель начальных стадий хронической сердечной недостаточности, полученная в результате дискриминантного анализа клинических, инструментальных и лабораторных показателей. Полученные дискриминантные функции используются при построении территориальной карты дифференциации хронической сердечной недостаточности, а статистические оценки синтезированных моделей показывают высокую значимость и адекватность. Ил.: 1. Табл.: 3. Библиогр.: 10. назв.

Ключевые слова: дискриминантный анализ, хроническая сердечная недостаточность, территориальная карта.

Постановка проблемы. В настоящее время медицина в своих исследованиях все чаще обращается к достижениям математических наук, с помощью которых изучаются многообразные связи основных клинических параметров и их комбинаций.

Статистическое моделирование основных жизненных функций в норме и патологии имеет большое теоретическое и практическое значение. Оно позволяет объяснить сущность патологического процесса, выявить взаимосвязи между клиническими, инструментальными и лабораторными показателями, правильно оценить прогноз заболевания и разработать эффективные лечебно-профилактические мероприятия.

Рост сердечно-сосудистых заболеваний в мировом масштабе и их "омоложение" в последнее время является общеизвестным фактом. Возрастает количество детей и подростков с данной патологией, которая включает как врожденные аномалии (врожденные пороки сердца, множественные малые структурные аномалии сердца), так и приобретенные (воспалительные заболевания, кардиомиопатии физического напряжения и др.). На фоне этих заболеваний нередко создаются условия, приводящие к ухудшению функциональной способности сердца и формированию хронической сердечной недостаточности (ХСН). ХСН, начинаясь порой незаметно для пациента, постепенно приводит к снижению его физической

активности и трудоспособности, ухудшению качества жизни и, в итоге, значительному ее укорочению. Именно поэтому приоритетным направлением современной кардиологии стала профилактика развития ХСН [1, 2].

Как известно, развитие ХСН является патофизиологически необратимым процессом, поскольку механизмы ее формирования, выполняя адаптационную функцию на начальных этапах, постепенно становятся дезадаптационными факторами, приводящими к прогрессированию процесса [2, 3]. Основные звенья данного патологического процесса включают активацию нейрогуморальных систем регуляции, системы цитокинов и оксидативного стресса, ремоделирование миокарда, которые тесно связаны между собой. В то же время эти механизмы комплексно не изучались у детей и подростков с патологией миокарда.

В связи с вышесказанным, разработка диагностической модели начальных стадий ХСН у детей и подростков с патологией миокарда с учетом изменений морфофункциональных характеристик сердца, показателей систем нейрогуморальной регуляции, иммуновоспалительной активации и свободнорадикальных процессов является актуальной научной и практической задачей.

Анализ литературы. Для однозначного определения информативных признаков, характеризующих тот или иной диагностический процесс на основе законов распределения и значений вероятностей присутствия, и, соответственно, построения адекватной модели могут использоваться методы регрессионного, кластерного, дискриминантного анализов [4].

Используя методы регрессионного анализа, можно достаточно точно выявить факторы, оказывающие существенное влияние на результирующий показатель, а также определить силу и направление этого влияния. Однако синтезированные модели могут оказаться неточными или, в случае сложных моделей, переобученными, что снижает эффективность их использования [5, 6].

Применение методов кластерного анализа позволяет сопоставить объекты моделирования по их качественным характеристикам, агрегировать экспертные оценки текущего и прогнозируемого уровней развития объектов и т. д. Несмотря на свои широкие возможности, использование данного метода анализа требует значительной затраты времени и сил для проведения соответствующих расчетов, а полученные результаты группирования не всегда адекватно интерпретируются, особенно если информативные признаки, характеризующие объекты исследования, были достаточно разнородны [7].

Указанные выше недостатки позволяет учесть дискриминантный анализ, дающий возможность быстро и качественно классифицировать исследуемые объекты и синтезировать адекватную линейную математическую модель. Данный метод математического анализа имеет ряд преимуществ, таких как: учитывается вариабельность параметра, рассматривается совокупность всех клинических и параклинических показателей, взятых со своими коэффициентами, которые отражают удельный вес влияния каждого показателя на постановку диагноза [8, 9, 10].

Целью статьи является применение дискриминантного анализа для классификации хронической сердечной недостаточности на ранних стадиях развития.

Основной материал. При проведении дискриминантного анализа нами были проанализированы данные 159 подростков с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, и рассчитан оптимальный объем выборки для построения математической модели. Все пациенты в зависимости от наличия заболевания сердца и ХСН по клиническим критериям были разделены на 3 группы:

1) подростки с заболеваниями сердечно-сосудистой системы без признаков ХСН (1 группа – 27 подростков – 17 %);

2) подростки с заболеваниями сердца и начальной стадией ХСН (2 группа – 65 подростка – 40,9 %);

3) контрольную группу составили практически здоровые сверстники (3 группа – 67 подростков – 42,1 %).

Установлено, что наименьший процент составляют подростки с заболеваниями сердечно-сосудистой системы без сердечной недостаточности, поэтому объем выборки для создания математической модели определялся с учетом этого, наименьшего, показателя.

С математической точки зрения все пациенты рассматривались как совокупность объектов с варьирующимися количественными и качественными характеристиками. На основании этих характеристик определялась группа, к которой относится объект. Это позволило нам спрогнозировать группы (наличие сердечной недостаточности) для новых объектов из той же совокупности.

Для определения значимых для формирования диагноза свойств, было проанализировано 73 показателя. Все показатели были закодированы и поставлены в соответствие 73-мерному вектору, что учитывает отсутствие, наличие, направленность и величину каждого показателя. Задание дискриминации желательно решать с использованием минимального количества функций. Количество функций в каждом конкретном случае зависит от конфигурации классов в многомерном пространстве дискриминантных переменных. Чем сложнее конфигурация, тем больше функций необходимо для их распределения и анализа. Функции строили таким образом, чтобы их средние значения для разных классов наиболее различались. При этом совокупность функций образовывала ортогональное пространство, то есть функции были независимыми друг от друга. Математическая обработка результатов проводилась на персональном компьютере с использованием программ *Microsoft Excel 7.0* и *SPSS*. Расчет методом дискриминантных функций значений диагностических коэффициентов позволил выделить 9 значимых для определения диагноза показателей (табл. 1).

Состояние сердечно-сосудистой системы было описано следующими дискриминантными функциями:

$$DF1 = -0,019 \times X1 - 0,016 \times X2 + 0,001 \times X3 + 0,053 \times X4 - 0,003 \times X5 + \\ + 0,156 \times X6 - 0,165 \times X7 + 0,001 \times X8 + 0,120 \times X9 + 0,020 \times X10 - 7,188;$$

$$DF2 = 0,080 \times X1 - 0,059 \times X2 - 0,010 \times X3 + 0,130 \times X4 - 0,038 \times X5 + \\ + 0,296 \times X6 + 0,270 \times X7 - 0,011 \times X8 - 0,014 \times X9 + 0,009 \times X10 - 1,122,$$

где $X1$ – интерлейкин-1 β (пг/мл); $X2$ – интерлейкин-6 (пг/мл); $X3$ – фактор некроза опухоли ФНО α (пг/мл); $X4$ – CD-95 (% клеток, несущих маркер апоптоза); $X5$ – циклический 3,5-аденозинмонофосфат (цАМФ, нмоль/мл); $X6$ – ренин (нг/мл/час); $X7$ – карбонилированные белки (Ед/мл); $X8$ – норадреналин (нмоль/сут); $X9$ – фракция выброса левого желудочка после физической нагрузки (%); $X10$ – индекс конечного диастолического объема левого желудочка (мл/м²).

Таблица 1

Канонические коэффициенты дискриминантных функций для значимых показателей при определении состояния сердечно-сосудистой системы

Признак	Единицы измерения	Канонические коэффициенты	
		1 функция	2 функция
1	2	4	5
Интерлейкин-1 β	пг/мл	– 0,019	0,080
Интерлейкин-6	пг/мл	– 0,016	– 0,059
Фактор некроза опухолей ФНО α	пг/мл	0,001	– 0,010
CD-95	% клеток, несущих маркер апоптоза	0,053	0,130
Циклический 3,5-аденозинмонофосфат (цАМФ)	нмоль/мл	– 0,003	– 0,038
Ренин	нг/мл/час	0,156	0,296
Карбонилированные белки	Ед/мл	– 0,165	0,270
Норадреналин	нмоль/сут	0,001	– 0,011
Фракция выброса левого желудочка после физической нагрузки	%	0,120	– 0,014
Индекс конечного диастолического объема левого желудочка (ИКДО)	мл/м ²	0,020	0,009
Константа		– 7,188	– 1,122

Оценка меры удачного распределения на группы, полезность дискриминантных функций и количество функций, были оценены при помощи коэффициентов канонической корреляции (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика дискриминантных возможностей функций

Функция	Собственное значение	% дисперсии	Общий %	Каноническая корреляция
1	13,010	91,1	91,1	0,964
2	1,264	8,9	100,0	0,747

Учитывая значение канонического коэффициента первой функции (0,964), можно сделать вывод о существовании высокой связи между диагнозом и значениями первой дискриминантной функции. Также нами была обнаружена высокая связь между диагнозом и значениями второй дискриминантной функции (0,747). Качественная оценка силы связи r_{xy} величин X и Y была сделана на основании шкалы Чеддока.

Оценка значимости дискриминантных функций была проверена λ -статистикой Уилкса (табл. 3).

Таблица 3

Определение значимости дискриминантных функций методом λ -статистики Уилкса

Тест функций	Лямбда Уилкса	χ -квадрат	Степени свободы, df	Значимость
1	0,032	523,746	20	0,000
2	0,442	123,819	9	0,000

На основании значений обеих дискриминантных функций построена территориальная карта распределения больных в зависимости от диагноза (рис.), где 1 – группа, у которой отсутствует сердечная недостаточность; 2 – группа, у которой начальная стадия сердечной недостаточности; 3 – группа здоровых подростков; * – центр группы.

Анализ полученных данных показал, что из 27 пациентов первой группы (подростки с заболеваниями сердца без ХСН) трое были ошибочно отнесены ко второй группе. Все пациенты второй (подростки с заболеваниями сердечно-сосудистой системы и начальной стадией ХСН) и третьей (контроль) групп были определены верно.

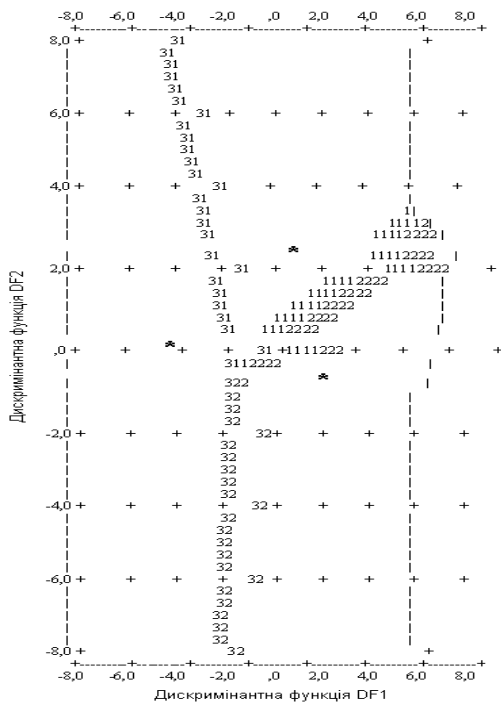


Рис. Территориальная карта распределения больных в зависимости от диагноза

Таким образом, разработанная математическая модель корректно классифицирует 98,1% всех подростков с проблемами сердечно-сосудистой системы.

Выводы. Применение дискриминантного анализа позволило классифицировать детей и подростков с различным состоянием сердечно-сосудистой системы: здоровые, с заболеваниями миокарда без ХСН, с начальными проявлениями ХСН.

Список литературы: 1. Кржечковская, В.Г. Заболевания сердечно-сосудистой системы детей и подростков / В. Кржечковская, Р. Вахтангишвили. – М.: Феникс, 2006. – 508 с. 2. Воронков Л.Г. Первичная профилактика сердечной недостаточности – один из приоритетов современной кардиологии / Л.Г. Воронков // Укр. кардіологічний журнал. – 2004. – № 4. – 9-13 с. 3. Добрин Б.Ю. Современные представления о механизмах начальных проявлений и прогрессирования сердечной недостаточности / Б.Ю. Добрин, И.Е. Белая // Укр. кардіологічний журнал. – 2005. – № 6. – 143-150 с. 4. Яндекс. Экономико-математический словарь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://slovari.yandex.ru/dict/lop/lop/article/lop/lop-0315.htm> – Загл. с экрана. 5. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ / Т. Андерсон. – М.: Феникс, 1963. – 516 с. 6. Дрейнер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейнер, Г. Смит. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2007. – 118 с. 7. Ким Дж. Щ. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ

/ Дж. Ш. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с. **8.** Дюк В. А. Компьютерная психодиагностика / В.А. Дюк. – С-Пб.: Питер, 1994. – 318 с. **9.** Каримов Р.Н. Обработка экспериментальной информации / Р.Н. Каримов. – Уч. пособие. Ч. 3. – Многомерный анализ. – Саратов: СГТУ, 2000. – 108 с. **10.** Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. Ллойда Э., Ледермана У., Айвазяна С.А., Тюрина Ю.Н. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 526 с.

УДК 621.57.673:61

Використання дискримінантного аналізу для діагностики хронічної серцевої недостатності у підлітків / А.І. Бих, О.В. Висоцька, А.П. Порван, Л.І. Рак, В.Г. Антоненко, О.Є. Болібок, О.О. Сватенко // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 16 – 22.

У статті авторами пропонується діагностична модель початкових стадій хронічної серцевої недостатності, одержана в результаті дискримінантного аналізу клінічних, інструментальних і лабораторних показників. Одержані дискримінантні функції використовуються при побудові територіальної карти диференціації хронічної серцевої недостатності, а статистичні оцінки синтезованих моделей показують високу значущість і адекватність. Іл.: 1. Табл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: дискримінантний аналіз, хронічна серцева недостатність, територіальна карта.

UDC 621.57.673:61

Using of discriminant analysis for diagnostics chronic cardiac insufficiency on teenagers / Bykh A.I., Visotskaya E.V., Porvan A.P., Rak L.I., Antonenko V.G., Bolibok E.E., Swatenko O.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 16 – 22.

In the article authors offer the diagnostic model of initial stages of chronic cardiac insufficiency, got as a result of discriminant analysis of clinical, instrumental and laboratory indexes. The got discriminant functions are used for the construction of territorial card of differentiation of chronic cardiac insufficiency, and the statistical estimations of the synthesized models show high meaningfulness and adequacy. Figs: 1. Tables: 3. Refs: 10 titles.

Keywords: discriminant analysis, chronic cardiac insufficiency, territorial map.

Поступила в редакцию 25.05.2010

А.И. БЫХ, д-р. физ.-мат. наук, проф., зав. каф. БМЭ ХНУРЭ (г. Харьков),
И.Ю. ПАНФЕРОВА, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ (г. Харьков),
Е.В. ВЫСОЦКАЯ, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ (г. Харьков),
В.И. ЖУКОВ, д-р мед. наук, д-р биол. наук, проф., зав. каф. биологической химии ХНМУ (г. Харьков),
Ю.В. КИРИЧЕНКО, инженер (г. Харьков)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПАЦИЕНТАХ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ РАЗЛИЧНЫМИ ДЕРМАТОЗАМИ

В статье рассмотрен подход к проектированию модели данных информационной системы хранения и обработки информации о пациентах с различными дерматозами. Определены логические объекты, которые позволили смоделировать структуру данных. Разработана объектно-реляционная модель данных. Ил.: 2. Табл.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: модель данных, дерматозы, объектно-реляционная модель данных.

Введение. Дерматологические заболевания разрушают кожный покров и его придатки (волосы, ногти и потовые железы), нарушая тем самым их естественные функции – защитную, иммунную, рецепторную, терморегулирующую и обменную, а также доставляют массу эстетических неудобств своим обладателям [1]. В большинстве случаев заболевания кожи могут быть проявлением патологических процессов внутри организма, поэтому дерматология тесно связана с венерологией, хирургией, эндокринологией и многими другими медицинскими направлениями. При таком комплексном подходе к диагностированию и установлению патогенезов дерматологических заболеваний, например, псориаза, накапливаются большие объемы данных по результатам исследований и лечения пациентов [1, 2].

Возникает проблема хранения накопленных данных, которую трудно решить без привлечения современных способов хранения и обработки медицинской информации. Поэтому задача структурирования и хранения информации является актуальной.

Хранение информации в базах данных (БД) обеспечивает быстрый доступ к результатам исследований, накопление полезных данных с целью их дальнейшей обработки в различных информационных системах, а также своевременность и точность предоставления информации пациенту и лечащему врачу.

Обзор существующих подходов к созданию модели данных. Одним из этапов проектирования БД является даталогическое (логическое) проектирование, представляющее собой создание логической структуры данных. В процессе развития теории и практического использования БД, а

также средств вычислительной техники, создавались различные даталогические модели [3].

Одними из первых таких моделей стали иерархические, сетевые и модели на основе инвертированных списков. Но сложности их практического использования, увеличение объема и структурной сложности хранимых данных привели к широкому распространению реляционных (табличных) СУБД.

Реляционная модель состоит из трех частей, описывающих разные аспекты реляционного подхода: структурной части, манипуляционной части и целостной части. В структурной части модели показывается, что единственной родовой структурой данных, используемой в реляционных БД (РСУБД), является нормализованное n -арное отношение. Определяются понятия доменов, атрибутов, кортежей, заголовка, тела и переменной отношения. Модель ориентирована на организацию данных в виде двумерных таблиц. Каждая реляционная таблица представляет собой двумерный массив и обладает следующими свойствами: каждый элемент таблицы – один элемент данных, все ячейки в столбце таблицы однородные, то есть все элементы в столбце имеют одинаковый тип (числовой, символьный и т.д.), каждый столбец имеет уникальное имя, одинаковые строки в таблице отсутствуют, порядок следования строк и столбцов может быть произвольным.

Преимуществом реляционных БД является наличие мощного и в тоже время простого языка SQL – Structured Query Language, позволяющего выполнять многие необходимые пользователям операции.

Одним из недостатков реляционной СУБД является отсутствие в ней сложных типов данных (таких, как рисунки, графики, диаграммы и т. п.) и абстрактных типов, определяемых пользователем. В то же время, как известно, объекты реального мира часто адекватно представляются именно такими типами. Обычно при построении реляционной модели данных и последующем отображении ее во внутренние структуры хранения, например, в таблицы, происходит, как говорят, потеря семантики, т. е. специфических для какого-либо объекта действий и линий поведения. Таким образом, сами данные, отображаемые в БД, становятся пассивными, статическими, их поведением можно управлять только извне, из приложений, потому что РСУБД не имеют внутренних механизмов и средств поддержки семантики, и, если что-либо в этом направлении и возможно сделать, так это только за счет программ приложений. А это не всегда является удовлетворительным решением вопроса.

Логическим шагом в решении этих проблем стала попытка встроить семантику в сам механизм управления БД, что и явилось толчком к созданию объектно-ориентированной модели, в основу которой положены принципы, характерные для объектно-ориентированного программирования: инкапсуляция, полиморфизм и наследование.

Создание программ для объектных БД существенно отличается от написания приложений, взаимодействующих с реляционными СУБД.

Объектная СУБД, как правило, поддерживает один или несколько объектно-ориентированных языков: C++, Java, Smalltalk, Object Lisp и т.п. В своих программах разработчики используют объекты и структуры, которые помещаются в БД. В сочетании с визуальными средствами разработки создание прикладных программ может быть проведено с минимальными затратами средств и времени.

В условиях широкого распространения объектно-ориентированной методологии разработки прикладных систем и одновременного доминирующего положения на рынке реляционных СУБД привлекательным решением оказывается использование промежуточного слоя программного обеспечения, предоставляющего необходимые объектно-ориентированные интерфейсы к данным, хранимым под управлением реляционной СУБД, которые получили название объектно-реляционные БД [4]. Таким образом, современные модели БД представлены тремя классами: реляционные, объектно-ориентированные и объектно-реляционные.

Преимуществом объектно-реляционных СУБД является сохранение преемственности с системами предыдущего поколения, а также возможность применения уже зарекомендовавших себя методов хранения информации в реляционных СУБД, возможность использования новых объектно-ориентированных механизмов, повышающих эффективность хранения и обработки данных. Такие СУБД поддерживают определение сложных типов данных и управление ими, иерархию и наследование, а также язык запросов, основанный на расширении индустриального стандарта SQL [8]. Реализует эти свойства каждый производитель по-своему, причем подходы существенно различаются, что связано с проблемой, перекочевавшей вместе с префиксом "объектный" из области объектно-ориентированных баз данных, отсутствием общепринятой объектно-ориентированной модели данных.

Цель статьи – разработать модель данных информационной системы для хранения информации о пациентах с различными дерматозами, включая результаты исследования, жалобы пациентов, а также информацию о лечащих врачах.

Было исследовано 332 пациента с различными дерматозами (псориаз, экзема, крапивница и т.п.). Для каждого пациента было проведено исследование различных клинико-биохимических показателей (аминокислоты, ферменты, микроэлементы и т.п.).

Всего был рассмотрен 141 показатель. Эти показатели были классифицированы по оценке состояния различных органов: печень (общий белок, альбумин, индикан и т.п.), почки (γ -gt, щелочная фосфатаза и т.п.), сердце (креатинин, кретинкиназа и т.п.) и отношению к системам организма: ферментативная (γ -gt, щелочная фосфатаза, аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, сукцинатдегидрогеназы (СДГ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и т.п.), антиоксидантная (витамины А и Е), оксидантная (МДА, диены,

БХЛ и т.п.), гормональная (кортизол, пролактин и т.п.), нервная (гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), таурин и т.п.), иммунная (иммунноглобулины – IgA, IgM; CD-3, CD-4, CD-8, CD-19, интерлейкины – Ил-1β, Ил-2, Ил-4, Ил-6, Ил-8 и т.п.).

Также все исследования были разделены на показатели белкового (аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, мочевины и т.д.), углеводного (gluc, Mg, Г-6ФДГ и т.д.), микроэлементного (Fe, Ca, Mg и т.д.), жирового (ИБХЛ, МДА, диены и т.д.) обменов (рис. 1).

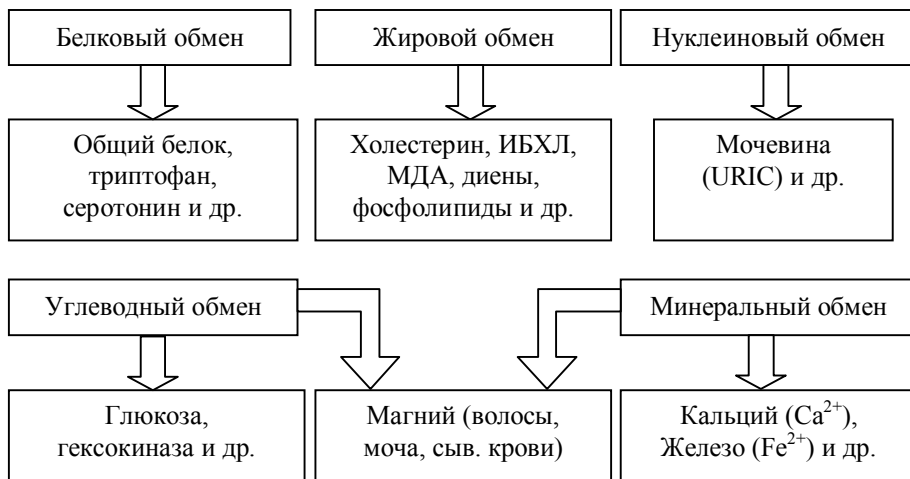


Рис. 1. Виды обмена веществ и разделение показателей

Большое значение имеет оценка результатов биохимических исследований, которая невозможна без знания нормы, ее вариантов, и степени выявления отклонений. Креатинин один из таких исследованных параметров, его концентрация в сыворотке крови здоровых лиц показана в табл. 1 [5].

Таблица 1
Концентрация креатинина в сыворотке крови здоровых лиц

Возраст, лет	Мужчины, мкмоль/л	Женщины, мкмоль/л	Возраст, лет	Мужчины, мкмоль/л	Женщины, мкмоль/л
20 – 29	60 -120	40 – 100	50 – 59	60 -125	50 – 100
30 – 39	60 -120	50 – 100	60 – 69	30 – 125	50 – 110
40 – 49	60 -120	45 – 100	> 70	60– 135	45 – 110

Как видно из табл. 1, для хранения сведений о нормах биохимических показателей необходимо учитывать следующие особенности: пределы нормы задаются в виде интервала [min, max], существуют единицы измерения для

каждого конкретно показателя, значения норм могут варьироваться в зависимости от пола и возраста. Таким образом, таблица «ParameterLimit» модели данных должна содержать поля, описанные в табл. 2.

Так как данные из таблицы "ParameterLimit" не могут существовать отдельно от таблицы параметров, то целесообразно сделать эту таблицу вложенной в таблицу параметров (сделать ее Nested Table).

Для создания объектно-реляционной модели данных использовалась среда CA Erwin Data Modeler 7.3. Разработанная модель показана на рис. 2.

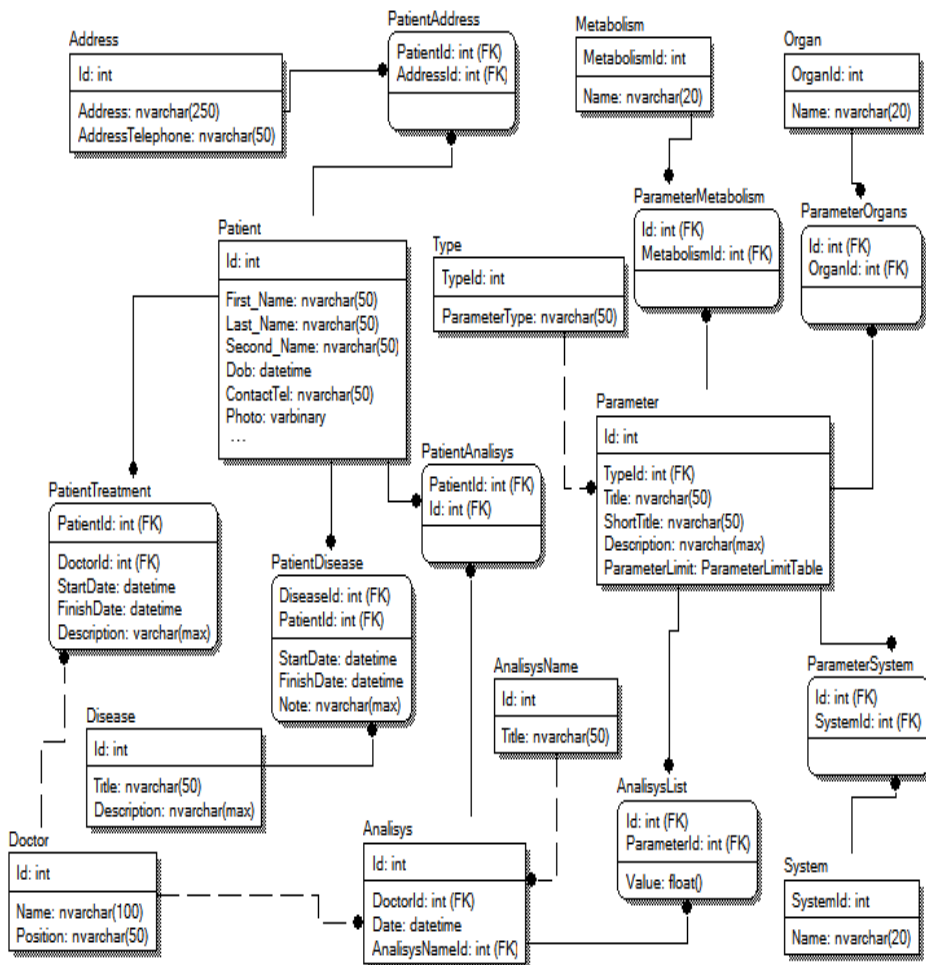


Рис. 2. Модель данных

Описание структуры таблицы "ParameterLimit"

Поле	Тип	Описание
MinValue	Число с плавающей точкой	Минимальное значение нормы
MaxValue	Число с плавающей точкой	Максимальное значение нормы
Unit	Строковое значение	Единица измерения
AgeMin	Целое число	Диапазон возраста человека для текущего значения допустимого диапазона нормы
AgeMax	Целое число	
Gender	Целое число	Пол человека (1 – мужчина, 0 – женщина)

Выводы. Разработана модель данных для информационной системы хранения и обработки информации о пациентах с различными дерматозами, их результатов исследования, норм. Эта модель может быть физически реализована в различных объектно-реляционных СУБД, таких как Oracle и т.п.

Список литературы: 1. Каламкарян А.А. Клиническая дерматология: Редкие и атипичные дерматозы / А.А. Каламкарян, В.Н. Мордовцев, Л.Я. Трофимова. – Айастан – 1989. – 567 с. 2. Любов Г.Н. Общий механизм патологии / Г.Н. Любов // Донецкий вестник Научного общества им. Шевченко. – Донецк. – 2008. – Т. 20. – 248 с. 3. Рыбанов А.А. Инструментальные средства автоматизированного проектирования баз данных / А.А. Рыбанов. – ВолГГТУ, Волгоград, 2007. – 96 с. 4. Семенов В.А. Стратегии объектно-реляционного отображения: систематизация и анализ на основе паттернов / В.А. Семенов, С.В. Морозов, С.А. Порох // Труды Института Системного Программирования РАН. – 2004. 5. Хмелевский Ю.В. Основные биохимические константы человека в норме и при патологии / Ю.В. Хмелевский, У.К. Усатенко. – К.: "Здоровья". – 1987. – 160 с. 6. Гусев А.В. Особенности в проектировании и практической разработке медицинской информационной системы / А.В. Гусев, И.П. Дуданов, Ф.А. Романов, А.Г. Дмитриев. – Карельский научно-медицинский центр СЗО РАМН, Петрозаводск, 2004. 7. Андреев А.М. Выбор СУБД для построения информационных систем корпоративного уровня на основе объектной парадигмы / А.М. Андреев, Д.В. Березкин, Ю.А. Кантонистов // Компьютерная хроника. – 1999. – № 4. – С. 56–78. 8. Малахов Е.В. Базы данных как информационные модели предметных областей / Е.В. Малахов, О.В. Иванченко // Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – № 1 (7). – С. 27–30. 9. Microsoft SQL Server 2008: Reporting Services [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.URL: http://microsoft.com/sqlserver/2008/en/us/default.aspx](http://microsoft.com/sqlserver/2008/en/us/default.aspx). – 20.06.2010. 10. Чекалов А.П. Базы данных: от проектирования до разработки приложений / А.П. Чекалов. – СПб.: Питер, 2003. – 384 с.

УДК 004.652

Розробка моделі бази даних інформаційної системи зберігання та обробки інформації про пацієнтів із захворюваннями різними дерматозами / Бих А.І., Панфьорова І.Ю., Висоцька О.В., Жуков В.І., Кириченко Ю.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 23–29.

У статті розглянуто підхід до проектування моделі даних для інформаційної системи зберігання і обробки інформації про пацієнтів з різними дерматозами. Визначені логічні об'єкти, які дозволили змоделювати структуру даних. Розроблено об'єктно-реляційну модель бази даних. Іл.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: модель даних, об'єктно-реляційна модель бази даних, дерматози.

UDC 004.652

Development models of the database information storage and information processing on patients with diseases of different dermatoses / Byh A.I., Panferova I.Y., Vysotskaya E.V., Zhukov V.I., Kirichenko Y.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 23 – 29.

The article was considered approach to designing a data model for information storage and processing of information about patients with various dermatoses. Were identified logical objects that are allowed to model the data structure. A data model for object-relational database. Figs: 2. Tabl.: 2. Refs: 10 titles.

Key words: data model, model for object-relational database, dermatoses.

Поступила в редакцію 30.05.2010

О.В. ВАСИЛЕНКО, канд. техн. наук, доц. каф. ЕС ЗДІА (м. Запоріжжя),
Д.О. КУЗНЕЦОВ, ст. викл. каф. ЕС ЗДІА (м. Запоріжжя)

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ В ECAD

В статті представлені результати дослідження програми автоматизованого проектування MC9 класу ECAD в плані підтримки спектрального аналізу електронних схем; та швидкого перетворення Фур'є. Для підвищення точності моделювання спектральних характеристик розроблено відповідну методику, яку апробовано при дослідженні спектру багаторівневого інвертора напруги. Лл.: 5. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: автоматизоване проектування, спектральний аналіз, швидке перетворення Фур'є, спектр багаторівневого інвертора.

Постанова проблеми. Для прийняття оптимальних рішень при синтезі пристроїв радіо-, інформаційної та силової електроніки досить часто використовуються результати дослідження спектральних характеристик. Таке моделювання можна проводити засобами як універсальних, так і спеціалізованих математичних процесорів, при чому адекватність отриманих результатів залежить не тільки від точності моделі, але й від врахування особливостей програмного та математичного забезпечення використаного засобу, що, в свою чергу, вимагає дотримання певних правил формування завдання на аналіз. Отже, відповідна методика спектрального аналізу повинна бути розробленою у вигляді практичних рекомендацій для проектувальників.

Аналіз літератури. Джерела [1 – 3] містять описи математичного базису спектрального аналізу та його застосування для неавтоматизованого аналізу схем. В [4] проаналізовані методи формування математичних моделей схем та специфіка різних видів аналізу. В джерелах [5 – 7] представлений опис математичного забезпечення ECAD-систем MC8 і MC9 (моделі та алгоритми), описаний їх інтерфейс. В [8] описаний принцип дії багаторівневого інвертора напруги, в [9] представлені результати його дослідження.

Спектральний аналіз в математичних процесорах. В універсальних математичних процесорах (*MathCAD*, *MatLab* і т.п.) представлений значний набір функцій для дослідження спектральних характеристик систем, при чому фізичні явища в системах моделюються за рівняннями, які складає проектувальник, тому для аналізу електронних систем набагато зручніше використовувати спеціалізовані для електроніки процесори – програми автоматизованого проектування ECAD (*Electronics CAD*), в яких математична модель схеми формується автоматично за законами Ома та Кірхгофа, при чому використовується бібліотека готових моделей, а отримані рівняння розв'язуються найбільш пристосованими для жорстких систем методами [4].

В математичне забезпечення таких ECAD-систем, як *PCAD*, *OrCad*, *Electronics Workbench*, *MicroCap*, для всебічного дослідження електронних

пристроїв на схемотехнічному та функціональному рівнях проектування входять різні види аналізу в просторі часу, частоти, фазових змінних (напруги, струму) [4, 5]. Програма *MicroCap* (MC) фірми *Spectrum Software* дозволяє проводити дослідження з різними аргументами та відшукувати напрямки параметричної оптимізації приладів електроніки за допомогою багатоваріантних методів аналізу [4]. Зручність інтерфейсу, невимогливість до ресурсів комп'ютеру, повна сумісність зі *SPICE*-моделями та широкі можливості безкоштовної демо-версії зумовили її широке розповсюдження.

Спектрального аналізу як уособленого виду розрахунків в MC9 немає [5, 6]. Для його проведення необхідно при формуванні завдання на аналіз в режимах *Transient* (перехідні процеси), або *AC* (малосигнальний аналіз) [4, 5] задати функції, основні з них в скороченому опису наведені нижче:

- $HARM(u)$ – визначає амплітудні значення гармонік сигналу $u(t)$. Наприклад, $HARM(V(1))$ – амплітуди гармонік напруги $V(1)$.

- $THD(S, FR)$ – визначає поточний накопичуючий коефіцієнт гармонік спектру S у відсотках відносно рівня складової на частоті FR ; якщо частота FR не вказана, то відносно складової на частоті 1-ої гармоніки, яка дорівнює $1/Tmax$, в аналізі перехідних процесів. Наприклад, $THD(HARM(I(D1)))$ – повний коефіцієнт гармонік струму $I(D1)$.

- $FFT(u)$ – визначає значення класичного прямого перетворення Фур'є дискретних відліків сигналу $u(t)$, тобто комплексну величину, дійсна частина якої містить промасштабовану послідовність коефіцієнтів a_N , а уявна – промасштабовану послідовність коефіцієнтів b_N .

- $IFT(S)$ – класичне зворотне перетворення Фур'є спектру S . При АС-аналізі використання виразу дозволяє отримати як результат функції часу. Вираз виду $IFT(FFT(V(1)))$ має сенс лише під час проведення аналізу перехідних процесів, повертає в результаті початкову функцію часу $V(1)$.

Усі функції спектрального аналізу використовують вбудовану підпрограму швидкого перетворення Фур'є (FFT – *Fast Fourier Transform*), тобто сукупність математичних функцій для одержання частотно-часової інформації з сигналу, отриманого в результаті аналізу перехідних процесів та графіків АС-аналізу. FFT є модифікацією дискретного перетворення Фур'є, в MC9 максимальна кількість відліків – до 2^{20} , що дозволяє значно підвищити точність обчислень. При цьому FFT "нехтує" розрахунком фазових взаємозв'язків і концентрується тільки на довжині циклів і амплітудах коливань [6, 7], що значно скорочує час аналізу.

Особливість FFT полягає в здатності виділяти "пануючі" цикли із серії даних. Зворотне перетворення Фур'є ($IFFT$ – *Inverse Fast Fourier Transform*) дозволяє в режимі АС-аналізу на основі відомої частотної характеристики знайти імпульсну характеристику (реакцію схеми на одиничну δ -функцію).

При проведенні аналізу в MC9 використовуються оператори, що визначають дійсну та уявну частини спектру S ($RE(S)$, $IM(S)$), амплітудний та фазовий спектр S ($MAG(S)$, $PH(S)$).

Ціль статті – розробка і апробація методики спектрального аналізу в *ECAD* програмі *MC9*.

Методика спектрального аналізу в *MC9*. Спектральний аналіз виконується після розрахунку перехідних характеристик швидким перетворенням Фур'є із розрахунком коефіцієнта нелінійних спотворень, якщо відповідні функції були прописані в меню завдання на аналіз [5]. Після запуску аналізу в меню "*Transient Analysis*" стає активним пункт *FFT Windows* [6], який використовується для того, щоб при проведенні розрахунку спектрів періодичних процесів виділити на ділянці сталого режиму інтервал часу, що дорівнює цілому числу періодів першої гармоніки сигналу.

Для роботи *FFT* необхідно задати, як мінімум, 2 параметри:

- 1) *N* – кількість відліків функції;
- 2) *DF* – крок по частотній осі.

Параметр *N* приймається рівним цілому степеню двійки, і має знаходитися у діапазоні від $N_{min} = 8 = 2^3$ до $N_{max} = 1048576 = 2^{20}$, вказується у полі *Number of data points* закладки *FFT* діалогового вікна *Plot Properties* (рис.1), типові значення $N = 1024$.

Значення параметру *DF* знаходиться з установок *Transient*- і *AC*-аналізу.

В режимі *Transient* по вихідному сигналу знаходиться його спектральний склад, при цьому визначається частота першої гармоніки (*DF*):

$$DF = \frac{1}{< Upper_Time_Limit > - < Lower_Time_Limit >},$$

де *Upper Time Limit*, *Lower Time Limit* беруться з установок вікна (рис.1) для завдання інтервалу часу аналізованого сигналу, коли перехідні процеси в схемі закінчуються.

Інтервал *DF* представляє собою інтервал між сусідніми відліками *FFT*-функцій.

Upper Time Limit: TMAX

Lower Time Limit: TMIN

Number of Points: 1024

Auto Scaling

☒ Include DC Harmonic AutoScale First: 10 Harmonics

Default Set Default

Рис.1. Параметри закладки *FFT* вікна *Plot Properties*

Після цього обчислюються значення кривої перехідного процесу для

дискретних відліків часу:

$$t_k = \frac{t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}}{2N + 1},$$

де $t_{\text{поч}}$, $t_{\text{кін}}$ – початок і кінець часового інтервалу перетворень (*Upper Time Limit*, *Lower Time Limit*).

Потім за допомогою рекурентного методу розкладення функції у ряд Фур’є графік функції спочатку апроксимується сумою гармонік

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^N \left(A_n \cdot \cos(n \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{t_k}{t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}}) + B_n \cdot \sin(n \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{t_k}{t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}}) \right),$$

потім перераховуються до вигляду:

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cdot \sin(n \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{t_k}{t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}} + \varphi_n),$$

де $a_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$; $\varphi_n = \arctg(A_n / B_n)$.

Результати перетворення представляються у вигляді таблиці залежності a_n і φ_n від номеру гармоніки, яка далі оброблюється постпроцесором для побудови графіків заданих комплексних функцій.

В результаті аналізу математичного забезпечення спектрального аналізу в *ECAD* визначене наступне:

- *ECAD* програма *MC9* має менший список комплексних функцій для дослідження спектральних характеристик, ніж універсальні математичні процесори, але є найбільш зручним інструментом аналізу електронних систем;
- при моделюванні перехідних процесів математична модель схеми є найбільш універсальною, тому в *Transient*-аналізі отримується найбільш повний набір спектральних характеристик;
- точність результатів спектрального аналізу залежить, в основному, від коректності постановки задачі, оскільки сам алгоритм по своїй складності та точності наближується до інтегрального перетворення Фур’є.

Для запобігання отримання неадекватних результатів рекомендується:

- виключати аперіодичні процеси шляхом корекції завдання на аналіз;
- точно визначати найнижчу гармоніку (фундаментальну частоту);
- контролювати співвідношення постійних часу перехідних процесів, для покращення збіжності ітераційного процесу;
- не допускати фазових затримок та викривлень форм при побудові графіків у постпроцесорі (тобто чітко виділяти період з нульової точки часу та обирати мінімальний крок для покращення результатів інтерполяції);
- при моделюванні в програмах *MC* версій нижче восьмої (*MC8*), в завданні на аналіз спектральні функції задавати окремо від часових.

Апробація методики. Для апробації розробленої методики спектрального аналізу в *МС9* проведено моделювання багаторівневого автономного інвертора напруги (БАІН) із активним навантаженням. БАІН широко використовуються для перетворення та підвищення якості вихідної енергії в системах автономного електроживлення (ветро-, дизель-генераторних) [8]. Перетворення постійної напруги в змінну виконується квантуванням напруги по рівню, при чому досягається зниження всіх видів втрат в інверторі за рахунок зменшення динамічних втрат силових ключових елементів, при одночасному покращенні спектру вихідної напруги.

Електрична схема трьохрівневого інвертора на транзисторах *IGBT* з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) наведена на рис. 2 [9]. Шляхом моделювання в *МС9* отримані осцилограми та спектр БАІН. На рис. 3 а наведено спектральну амплітудну характеристику складових вихідної напруги БАІН, що вносять нелінійні спотворення до формуємого сигналу і знаходяться в області високих частот, близьких до несучої частоти ШІМ. У повному спектрі вихідної напруги присутня ще основна гармоніка на низькій частоті корисного сигналу.

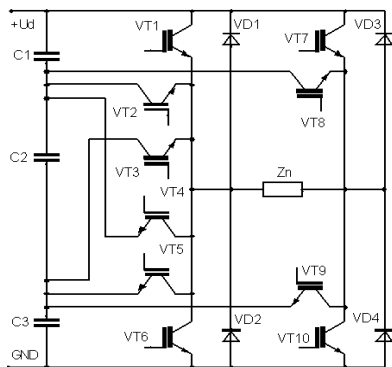
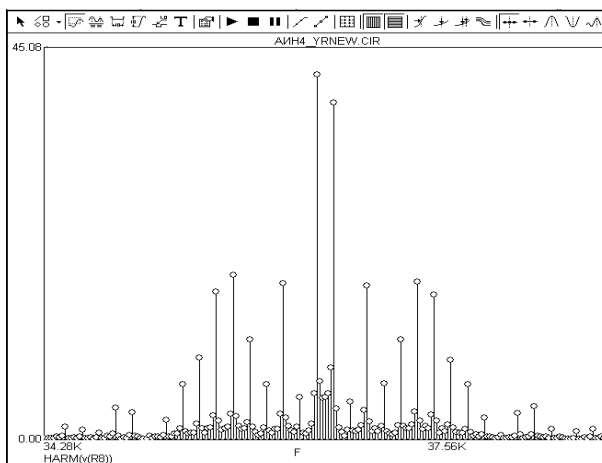
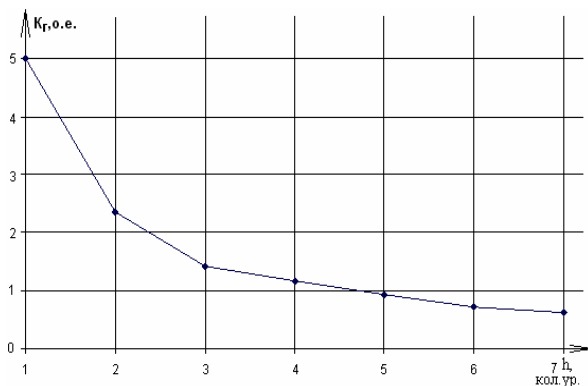


Рис. 2. Трьохрівневий інвертор

Аналіз показав, що із збільшенням кількості рівнів в інверторі, покращуються практично всі показники, зокрема, коефіцієнт K_g гармонік та К.К.Д., при чому, частотний діапазон БАІН визначається властивостями використаних приладів, а не структурою схеми. Збільшення кількості рівнів в інверторі приводить до "розмивання спектру", тобто амплітуди високочастотних складових зменшуються (рис. 3, а) при розширенні їхнього діапазону частот. Отримана залежність коефіцієнта гармонік БАІН від кількості рівнів (рис. 3, б) дозволила визначити оптимальну кількість рівнів інвертора (3 – 4), оскільки подальше ускладнення структури призводить до значного зростання вартості та масогабаритних показників БАІН.



а)



б)

Рис. 3. Моделювання БАІН: а) спектр вищих гармонік вихідної напруги; б) залежність коефіцієнта гармонік БАІН від кількості рівнів

Висновки. В результаті аналізу математичного забезпечення *ECAD*-програми *MC9* визначені особливості спектрального аналізу, врахування яких дозволило розробити відповідну методику та рекомендації для проектувальників електронних схем, що має практичне значення та увійде до створеного нині методичного забезпечення автоматизованого проектування.

Розроблену методику апробовано при дослідженні БАІН із ШІМ, отримані часові і спектральні характеристики дозволили провести його параметричну і структурну оптимізацію.

Список літератури. 1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник / Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с. 2. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов / В.С. Гутников. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1990. – 192 с. 3. Сигорский В.П. Основы анализа электронных схем / В.П. Сигорский. – К.: Вища школа, 1971. – 567 с. 4. Переверзев А.В. Моделирования в електроніці / А.В. Переверзев, О.В. Василенко. – Запоріжжя: ЗДІА, 2003. – 160 с. 5. Амелина М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. Справочное издание / М.А. Амелина, С.А. Амелин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 244 с. 6. Electronic Circuit Analysis Program. Reference Manual. – Spectrum Software, 2007. – 916 с. 7. Micro-Cap 9 Electronic Circuit Analysis Program. User's Guide. – Spectrum Software, 2007. – 220 с. 8. Руденко В.С., Гончаров Ю.П. Перетворювальна техніка: Підручник, Ч2. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с. 9. Переверзев А.В. Анализ характеристик многоуровневого автономного инвертора напряжения с одноуровневым источником напряжения / А.В. Переверзев, Д.А. Кузнецов // Технічна електродинаміка. Тем. випуск "ПСЕ-2008". – Київ. – 2008. – Ч. 4. – С. 40-45.

Стаття представлена д.т.н. проф. ЗДІА Михайлінін В.М.

УДК 621.314: СУ21.383.52

Спектральный анализ в ECAD / Василенко О.В., Кузнецов Д.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. — Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 30 – 36.

В статье представлены результаты исследования программы автоматизированного проектирования *MC9* в плане поддержки спектрального анализа электронных схем, в том числе быстрого преобразования Фурье. Для повышения точности моделирования спектральных характеристик разработана соответствующая методика, которая апробирована при исследовании спектра многоуровневого инвертора напряжения. Ил.: 3. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, спектральный анализ, быстрое преобразование Фурье, спектр многоуровневого инвертора.

Spectral analysis in ECAD / Vasilenko O.V., Kuznecov D.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 30 – 36.

In the article are presented the results of research the program of the automated planning *MC9* in the plan of support spectrology of electronic charts, including rapid transformation Fourier. For the increase of exactness design of spectral descriptions the proper method which is approved at research of spectrum of multilevel negator tension is developed. Figs.: 3. Refs.: 9 titles.

Key words: automated planning, spectral analysis, rapid transformation Fourier, multilevel negator tension.

Поступила в редакцию 20.05.2010

Т.А. ВАСЯЕВА, ассистент ДонНТУ (г. Донецк),
С.В. ХМЕЛЕВОЙ, канд. техн. наук, доц. ДонНТУ (г. Донецк),
Е.В. АЛЕКСЕЕВА, магистр ДонНТУ (г. Донецк)

НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В статье разработана постановка задачи прогнозирования потребления природного газа. Проведен анализ современного состояния методов прогнозирования. Рассмотрен и реализован подход нейросетевого прогнозирования объема потребления природного газа. Выполнен анализ и предварительная обработка входных данных. Проведены экспериментальные исследования с использованием данных потребления газа, предоставленными Харцызским управлением по газоснабжению и газификации. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: прогнозирование, методы прогнозирования, нейросетевое прогнозирование, предварительная обработка входных данных.

Постановка проблемы. В настоящее время в Украине проблема газоснабжения городов стоит достаточно остро. Прогнозирование потребления природного газа является основой не только для планирования закупок природного газа у газотрейдеров, но и для разработки мероприятий по управлению энергопотреблением в муниципальном хозяйстве, особенно в отопительный период. Потребление газа идет круглосуточно и представляет собой случайный процесс, имеющий определенные закономерности во времени. Имеются реальные данные потребления газа, предоставленные Харцызским управлением по газоснабжению и газификации. Данные представляют собой значения ежемесячного потребления газа городом за период 1998 – 2009 гг. Заданы дискретные отсчеты $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}$ в последовательные моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_n$. Задача прогнозирования заключается в предсказании значения $y(t_{n+1})$ в некоторый будущий момент времени t_{n+1} .

Анализ литературы. Качество прогноза во многом зависит от выбранной математической модели. В [1] выполнен аналитический обзор моделей и методов прогнозирования. Достаточно часто для решения задачи прогнозирования используются регрессионные модели, но в последние десятилетия были предложены модели на основе искусственных нейронных сетей [2]. Преимуществом использования нейронной сети для прогнозирования объема газопотребления заключается в том, что нет необходимости в построении модели объекта. К тому же нейронная сеть имеет хорошую работоспособность при использовании малых обучающих выборок, не обеспечивающих получение статистически достоверных результатов классическими методами.

Цель статьи – разработка нейросетевого метода прогнозирования потребления природного газа.

Для решения задачи с помощью искусственной нейронной сети необходимо:

- сформировать обучающую выборку;
- выбрать конфигурацию нейронной сети;
- обучить нейронную сеть;
- протестировать нейронную сеть.

Формирование обучающей выборки. Имеющиеся данные потребления газа представляют собой упорядоченную во времени последовательность, то есть временной ряд. С целью определения зависимости между наблюдениями (разделенными временными интервалами в один месяц), вычислялся коэффициент автокорреляции, который отражает, в сущности, обычную корреляцию, вычисляемую между образующими временной ряд текущими и запаздывающими значениями зависимой переменной. С помощью корреляционного анализа установлено, что существует зависимость прогнозируемой величины от значения в предыдущий момент времени (месяц) и от такого же месяца годом ранее. Таким образом, выбраны следующие значения временного ряда: $y(t_{n-1})$ и $y(t_{n-13})$ в качестве входных факторов.

Так же исследования показали влияние усредненного значения потребления газа за прогнозируемый месяц и предыдущий, это величина также включена во входной набор данных.

Нормировка данных позволяет привести разнородные данные к сопоставимым диапазонам, а также приблизить их распределение к равномерному, что повышает информативность обучающего примера. Из возможных вариантов нормировки был выбран следующий – линейная нормировка, которая приводит все значения к единому диапазону $[0,1]$ [3].

Таким образом, все значения временного ряда были нормированы и на вход нейронной сети подаются только значения в диапазоне $[0,1]$.

Выбор архитектуры нейронной сети. Согласно [4] для решения задач прогнозирования больше всего подходят следующие виды нейронных сетей: многослойный персептрон (MLP – сеть) и радиально-базисная сеть (RBF – сеть).

Но в большинстве случаев при решении одной и той же задачи размер сети RBF будет превышать размер MLP. Сеть RBF имеет в своем составе один скрытый уровень, а сеть MLP в общем случае – несколько. Однако в [5] показано, что любая функция может быть аппроксимирована трехслойной сетью MLP с одним скрытым слоем с любой степенью точности. При этом применение большего количества уровней является нецелесообразным, так как при этом время обучения увеличивается, а точность прогноза уменьшается. Таким образом, задача выбора числа слоев для обоих типов нейросетей не стоит: как сеть RBF, так и сеть MLP должны иметь один скрытый слой.

Сети RBF позволяют использовать лишь гауссову функцию активации, либо ее модификации. В тоже время MLP обладает способностью работать с различными функциями, что дает более широкие возможности для экспериментирования в процессе построения нейросетевой модели.

Кроме того, сеть RBF не обладает способностью к экстраполяции данных при увеличении ширины диапазона значений входных данных, так как отклик сети быстро затухает при удалении от сформированных на обучающей выборке центров классов.

Недостатком сети MLP по сравнению с RBF является более высокая сложность обучения ввиду необходимости совместного обучения нескольких слоев нейронов.

Таким образом, в качестве базовой сети была выбрана MLP-сеть. В качестве инструментальной среды использовался пакет Mathlab 7.0 (neural network toolbox). Проведены эксперименты, в результате которых выбрана архитектура нейронной сети, состоящая из входного слоя, имеющего 4 нейрона, скрытого слоя, состоящего из 7 нейронов и выходного слоя. Используются следующие функции активации: на скрытом слое – гиперболический тангенс, на выходном – линейная.

Обучение и тестирование нейронной сети. Сеть обучается алгоритмом обратного распространения ошибки [2]. Среда Mathlab 7.0 позволяет использовать различные его модификации. К примеру, такие алгоритмы второго порядка, как метод сопряженных градиентов и метод Левенберга-Марквардта [6, 7], который является наиболее распространенным алгоритмом оптимизации. Он превосходит по производительности метод наискорейшего спуска и другие методы сопряженных градиентов, а в некоторых задачах работает существенно быстрее, даже чем простейший градиентный метод. Превосходство данного метода, было подтверждено экспериментально.

Исходная обучающая выборка разделена на подмножество для обучения и тестовое подмножество, которое используется для проверки эффективности работы обученной сети. Предоставленная за 12 лет информация использована следующим образом: данные потребления газа за 11 лет включены в обучающую выборку, а за последний (12) год – в проверочную. После обучения нейронной сети выполнено ее тестирование, результаты представлены на рисунке. В левой части рисунка представлены результаты тестирования на обучающей выборке, в правой – проверочной. Среднеквадратичная ошибка на проверочной выборке равна $6.1579e-004$. Следует отметить, что прогноз на первые три месяца выполнен существенно точнее, чем на год.

Выводы. В статье реализован нейросетевой подход прогнозирования объема потребления природного газа. Для повышения точности прогноза выполнена предварительная обработка входных данных. Проведены экспериментальные исследования на реальных данных потребления газа,

предоставленными Харцызским управлением по газоснабжению и газификации. На тестирующем наборе ошибка прогнозирования равна 6.1579×10^{-4} , причем ошибка прогнозирования на ближайшие три месяца составляет менее 1 %.

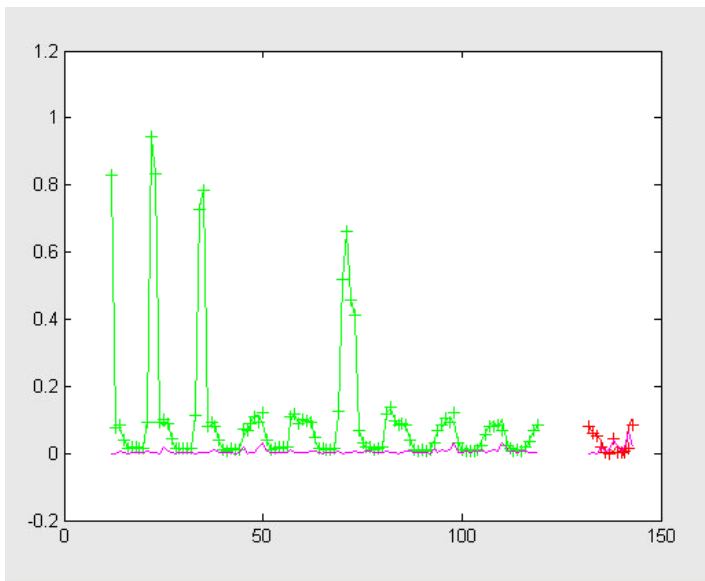


Рис. Тестирование нейронной сети

Таким образом, решена задача краткосрочного прогнозирования [8], в дальнейшем планируется построить модель для долгосрочного прогнозирования.

Список литературы: 1. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие / Э.Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006. – 221 с. 2. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / Хайкин Саймон. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с. 3. Васяева Т.А. Подготовка данных при разработке медицинских экспертных систем / Ю.А. Скобцов, Т.А. Васяева // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2007. – № 4 (27). – С. 49–55. 4. Головки В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение / В.А. Головки. – М.: Радиотехника, 2001. – 256 с. 5. Maxwell T. Nonlinear Dynamics of Artificial Neural Systems / T. Maxwell, C. Giles, Y. Lee, H. Chen // Proceedings of the conference on neural networks for computing. – Washington (D.C.), 1986. 6. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с. 7. Анант Ранганатан Алгоритм Левенберга-Марквардта // <http://www.cc.gatech.edu/people/home/ananth/docs/lmtut.pdf>. 8. Татаренко С.И. Методы и модели анализа временных рядов / Метод. указания к лаб. работам / сост. С.И. Татаренко. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 32 с.

*Статья представлена д.т.н., проф., зав каф. АСУ ДонНТУ
Скобцовым Ю.А.*

УДК 004.048:004.855

Нейромережеве прогнозування споживання природного газу / Васяєва Т.О., Хмільовий С.В., Алексеева К.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 37 – 41.

У статті розроблена постановка задачі прогнозування споживання природного газу. Проведено аналіз сучасного стану методів прогнозування. Розглянуто і реалізовано підхід нейромережевого прогнозування об'єму споживання природного газу. Виконано аналіз і попередня обробка вхідних даних. Проведено експериментальні дослідження з використанням даних споживання газу, наданими Харцизьким управлінням газопостачання і газифікації. Іл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: прогнозування, методи прогнозування, нейромережеве прогнозування, попередня обробка вхідних даних.

UDC 004.048:004.855

Neural forecasting of natural gas consumption / Vasyaeva T.A., Khmilovyy S.V., Alekseeva E.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 37 – 41.

The task of natural gas forecasting is developed in the article. The analysis of the modern state of methods of prognostication is conducted. The neural forecasting approach of volume of the natural gas consumption is considered and realized. An analysis and rough-down of datains is executed. Experimental researches are conducted with the use of information of gas consumption, given by a Hartsizsk management of gas-supplying and gasification. Fig.: 8 . Refs.: 8 titles.

Keywords: prognostication, methods of prognostication, neural prognostication, rough-down of datains.

Поступила в редакцію 22.05.2010

Я.І. ВИКЛЮК, канд. физ.-мат. наук, докторант НУ "Львівська політехніка" (м. Чернівці),

Б.М. ГАЦЬ, здобувач кафедри економічної кібернетики та інформаційних систем КНТЕУ (м. Чернівці)

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ І ПОБУДОВИ ПРОСТОРОВИХ ПОЛІВ ЙМОВІРНОСТІ УРБАНІЗАЦІЇ

На прикладі геоінформаційної системи (ГІС) MapInfo приведено методику відбору даних для побудови моделі просторових полів ймовірності урбанізації. Для розрахунку поля ймовірностей було використано нечітку гібридну мережу ANFIS, в результаті навчання сформовані FIS-системи з різними типами функцій приналежності. Апробація методу здійснювалась на основі туристичних містечок Карпатського регіону. Іл.: 6. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: ГІС, просторові поля ймовірності, нечітка гібридна мережа ANFIS, FIS-система, функції приналежності.

Постановка проблеми. Моделювання і управління різними видами складних соціальних систем є важливими елементами ефективного прийняття рішень. Серед таких систем можна виділити розвиток індустрії туризму, урбанізацію територій, розвиток туристичних курортів і т.п. Динамічний розвиток регіону може відбуватись за умови використання програм, що базуються на використанні прогностичних сценаріїв з можливістю передбачення розвитку таких систем.

Зважаючи на інтенсивний розвиток туризму в Карпатському регіоні виникає необхідність моделювання просторових структур туристичних містечок. Прогнозування геометрії росту населених пунктів і їхньої внутрішньої структури дозволить планувати розвиток відповідної інфраструктури з максимальною ефективністю. Виникає можливість передбачити місця потенційного розширення туристичних містечок, що дозволить визначити спеціалізацію окремих сегментів населеного пункту й передбачити інвестиційні потоки такої системи [1].

Аналіз літератури. Моделювання нелінійних комплексних систем набуло широкого розповсюдження. Зокрема, має місце зростаюча кількість прикладів моделювання міських систем і процесу урбанізації.

Одним з прикладів моделей просторової урбанізації є SLEUTH, що розроблений на основі клітинних автоматів (КА). З їх допомогою можна не тільки моделювати міське землекористування, але й оцінити та передбачити інші типи землекористування й ґрунтово-рослинного покриву. Модель здатна підбирати статистичні зразки минулого розвитку і забезпечувати ймовірнісну оцінку урбанізації, що відповідає дійсності. В [2] модель використовувалась для вивчення довгострокової урбанізації м. Сан Франціско й регіону Вашингтон-Балтимор. SLEUTH був успішно реалізований для передбачення

урбанізації на наступні 20-50 років для столичних регіонів, включаючи Південну Каліфорнію [3], Чикаго [4], Атланту [5], Санта Барбару [6], Лісабон та Порто [7].

Іншими прикладами моделювання міських систем є роботи [8 – 10]. В [8] моделюється динаміка використання земель міста Buffalo, NY з застосуванням КА і ГІС, в [9] змодельовано зміни використання земель міста Cincinnati методом обмежувальних КА і в роботі [10] розглянуто КА на основі нейромережі для моделювання швидкого розвитку міст в південному Китаї.

Метою роботи є визначення просторових розподілів полів ймовірностей урбанізації туристичних поселень для моделювання їх розвитку і розширення з використанням ГІС і апарату нечіткої логіки. Просторові моделі є важливим інструментом для осмислення процесу урбанізації, підтримки планування міст і управлінської політики [11].

Формалізація моделі. Прикладом моделювання міських систем є робота [1]. Апробація проводилась на прикладі міста Шеньжень (Китай) і в якості змінних моделі беруться наступні параметри: відстань до найближчого автобану, автодороги, центру міста і залізниці. Моделі такого плану використовуються для відображення процесу урбанізації великих міст і враховують характерні особливості, що притаманні для їх розвитку і розширення.

Враховуючи специфіку Карпатського регіону з відсутністю автобамів, невеликими розмірами туристичних поселень, наявністю під'їзних доріг модель просторових розподілів ймовірності урбанізації може бути представлена наступним чином:

$$p = f(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

де p – ймовірність урбанізації території, x_1 – відстань до центру населеного пункту, x_2 – відстань до найближчої автодороги, x_3 – відстань до найближчої залізничної станції.

Даний вибір аргументується тим, що важливу роль при моделюванні розвитку туристичних поселень відіграє відстань до атракторів (гірськолижних витягів, історико-культурних центрів тощо). В нашому випадку в якості атрактора було визначено центр населеного пункту. Іншим фактором розвитку є транспортні мережі (автошляхи і залізниці). Відомо, що розбудова поселень, що спеціалізуються на туризмі тяжіє до прокладених автошляхів.

Для формування навчальної вибірки використовувалась ГІС MapInfo. В якості навчального прикладу були вибрані просторові структури основних туристичних містечок Українських Карпат, а саме смт. Ворохта, м. Яремче, с. Мигово, смт. Славське, с. Паляниця. Навчальна вибірка складалась із 5000 записів і була сформована згідно наступного алгоритму. Навколо заданих туристичних містечок визначалась область радіусом декілька кілометрів. З заданої області випадковим чином вибирались точки, для яких визначалися

координати, наявність об'єктів інфраструктури (автомобільних доріг, залізничних шляхів, селищ). Крім цього, розраховувалась відстань до найближчої автодороги, залізничної станції і центру вибраного населеного пункту.

Для знаходження прихованих залежностей в необроблених даних використовуються методи Data Mining. Загальною особливістю подібних задач є існування деякої залежності, що пов'язує вхідні й вихідні змінні моделі системи, представленої у формі "чорної скриньки". При цьому виявлення й визначення даної залежності в явному теоретико-множинному або аналітичному вигляді не представляється можливим через недолік інформації про проблемну область, що моделюється або складність врахування численних факторів, що впливають на характер даного взаємозв'язку.

Серед численної кількості методів Data Mining можна виділити нечіткі нейронні (гібридні) мережі, що покликані об'єднати в собі достоїнства нейронних мереж і систем нечіткого виводу. З одного боку, вони дозволяють розробляти й представляти моделі систем у формі правил нечітких продукцій, які володіють наочністю змістовної інтерпретації. З іншого боку, для побудови правил нечітких продукцій використовуються методи нейронних мереж.

З огляду на це, в роботі було використано адаптивну систему нейро-нечіткого виводу ANFIS, за допомогою якої отримано нечіткі FIS-системи з можливістю модифікації, редагування і аналізу.

Комп'ютерний експеримент. Для розрахунку поля ймовірності урбанізації була побудована нечітка система типу Сугено з допомогою ANFIS-редактора пакету MATLAB. Система нечіткого виведення містить 3 вхідні змінні, одну вихідну змінну, кожна з яких описується 3-ма термами. В результаті навчання сформовано 27 правил нечітких продукцій. В роботі досліджувались FIS-системи з різними типами функцій приналежності: гаусівська, узагальнена дзвіноподібна, трикутна і трапецієвидна.

Проаналізуємо їхні поверхні нечіткого виводу для побудованих FIS-систем (рис. 1, 2). Дані графіки відображають рівень ймовірності урбанізації території залежно від відстаней до центру міста, залізничної станції і автодороги. На рис. 1, 2 подано поверхні, побудовані на основі FIS-системи з гаусівськими і дзвіноподібними функціями приналежності.

З рисунків видно, що зі зміною відстані ймовірність розвитку території змінюється плавно, без різких переходів, а самі поверхні мають неперервну структуру. Як показали розрахунки, поверхні, побудовані на основі FIS-систем з трикутними і трапецієвидними функціями приналежності дають різкі прямолінійні спади ймовірності урбанізації при зміні відстані. Таких різких перепадів на практиці, як правило, не спостерігається і отримані результати не є адекватними для соціальних систем і, відповідно, поставленої задачі. Дані FIS-системи можна використати для бінарних випадків (моделювання теперішнього стану туристичних поселень), але не підходять для вирішення задач моделювання просторового розвитку форми туристичних поселень.

Тому для побудови просторових полів ймовірності урбанізації найкраще підходять FIS-системи на основі гаусівських і дзінородібних функцій.

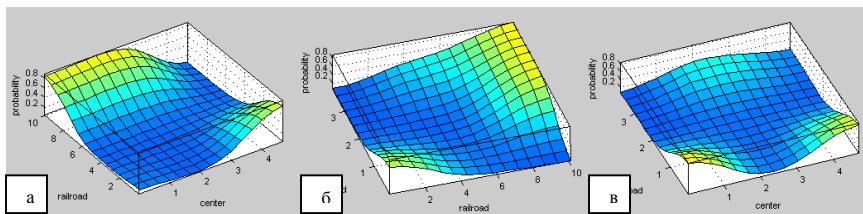


Рис. 1. Поверхні залежностей ймовірності урбанізації для гаусівських функцій приналежності в залежності від зміни відстані: а) до центру і залізничної станції, б) до залізничної станції і автодороги, в) до центру і автодороги

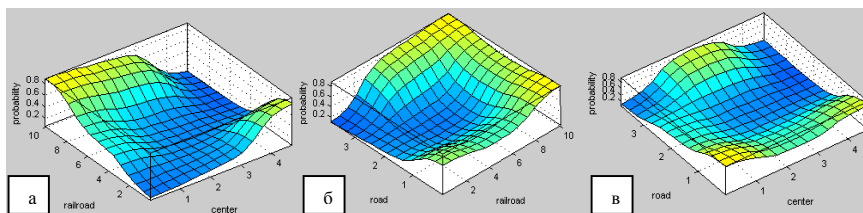


Рис. 2. Поверхні залежностей ймовірності урбанізації для дзінородібних функцій приналежності в залежності від зміни відстані: а) до центру і залізничної станції, б) до залізничної станції і автодороги, в) до центру і автодороги

Наступним кроком після розрахунку залежності моделі (1) є побудова полів ймовірності урбанізації туристичних містечок. Для цього розіб'ємо область, що моделюється сіткою. Для кожного вузла сітки визначаються значення входних параметрів моделі просторових розподілів ймовірності урбанізації (1). Результатом розрахунку є матриця розміром 1000000×3 . Отримані матриці були використані в якості аргументів функції `evalfis` пакету `FuzzyLogic Toolbox`, з допомогою якої було виконано нечіткий вивід в побудованих FIS-системах. На виході були отримані матриці, що відображають ймовірність урбанізації кожного з вузлів сітки і побудовані поля просторових розподілів ймовірності урбанізації.

Апробація запропонованого методу здійснювалась на основі туристичних містечок Ворохта і Яремче, що входили в навчальну вибірку. Розглянемо детальніше отримані результати.

На рис. 3 представлені поля ймовірностей урбанізації для м. Яремче. Видно, що поля, побудовані на основі FIS-систем з гаусівськими, дзінородібними і трикутними функціями приналежності дають майже ідентичний результат (рис. 3 а, 3 б, 3 г). Причому найвища ймовірність

урбанізації спостерігається вздовж однієї лінії. Це пояснюється наявністю автодороги, яка проходить через туристичне містечко і залізничної станції, що тут розташована. Дані фактори є визначальними в процесі розвитку і впливають на характер побудованих полів ймовірності урбанізації.

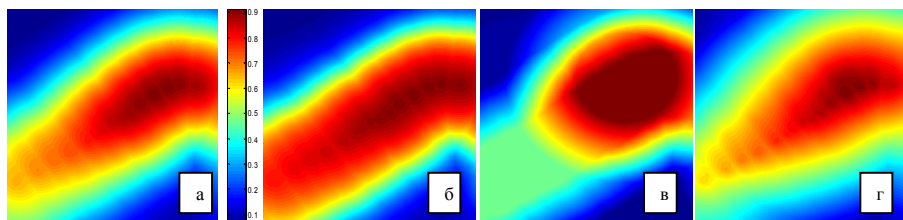


Рис. 3. Поля ймовірності урбанізації Яремче
а) гаусівські, б) дзвіноподібні, в) трапецієвидні, д) трикутні

Всі поля на рис. 4 мають два виражені центри, навколо яких відбувається ріст. Це пояснюється присутністю автодороги і залізниці. Але якщо в попередньому випадку (рис. 3) вони були розташовані паралельно одна одній, то у випадку Ворохти спостерігається розгалуження. Це і вплинуло на вигляд полів ймовірностей урбанізації.

Особливістю приведених туристичних містечок є те, що їх розвиток відбувався протягом тривалого періоду часу і проходив під впливом власних процесів забудови на місцях, популярних для відпочинку. Для таких містечок характерним є відсутність генерального плану забудови. Як показали дослідження, отримані результати є схожими для більшості туристичних містечок Карпатського регіону, що підтверджує вплив вхідних параметрів моделі (1) на перебіг процесів їх розвитку і забудови.

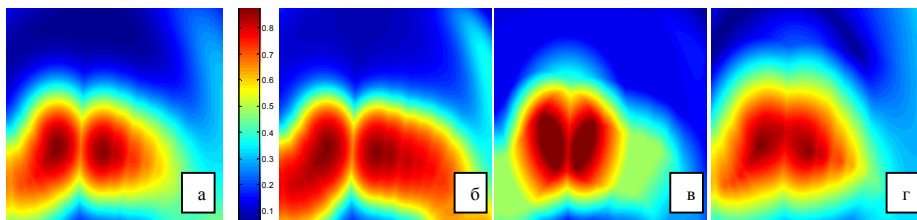


Рис. 4. Поля ймовірності урбанізації для смт. Ворохта
а) гаусівські, б) дзвіноподібні, в) трапецієвидні, г) трикутні

Висновки. В роботі була запропонована модель побудови просторових розподілів полів ймовірності урбанізації туристичних містечок Карпатського регіону на основі засобів нечіткої логіки і даних геоінформаційної системи MapInfo. Отримано FIS-системи з різними типами функцій приналежності і

обґрунтовано доцільність їх застосування для побудованої моделі. Використання методу дало змогу отримати просторові структури з високою точністю форм, що підтверджує адекватність підходу.

Модель може бути використана органами державної, місцевої влади та інвесторами для отримання інформації про перспективні для створення та розбудови туристичної інфраструктури зони. Можливість визначення перспективних районів не тільки дозволить виявити привабливі для інвестицій об'єкти, але й допоможе сформуванню ефективної стратегії розвитку туризму в регіонах.

Список литературы: 1. *Qingsheng Yanga*. Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines / *Yanga Qingsheng, Lia Xia, Shid Xun* // Computers & Geosciences. – 2008. – № 34. – P. 592-602. 2. *Clarke K.C.* Loose-coupling of a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore / *K.C. Clarke, L. Gaydos* // International Journal of Geographical information science. – 1998. – V. 12 (7). – P. 699-714. 3. *Xian G.* Dynamic modeling of Tampa Bay urban development using parallel computing / *G. Xian, M. Crane, D. Steinwand* // Computers & Geosciences. – 2005. – № 31. – P. 920-928. 4. *Xian G.* Urban development in the Chicago area – a dynamic model study / *G. Xian, W. Acevedo, J. Nelson* // Proceedings of the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4), Banff, Alberta, Canada. – 2000. – P. 47-53. 5. *Lo C.P.* Drivers of land-use/land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia Metropolitan area / *C.P. Lo, X. Yang* // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2002. – № 68 – P. 1073-1082. 6. *Herold M.* The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling / *M. Herold, N.C. Goldstein, K.C. Clarke* // Remote Sensing of Environment. – 2003. – № 86 – P. 286-302. 7. *Silva E.A.* Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porton, Spain / *E.A. Silva, K.C. Clarke* // Computers, Environment and Urban Systems. – 2003. – № 26 – P. 525-552. 8. *Clarke K.C.* A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area / *K.C. Clarke, S. Hoppen, L. Gaydos* // Environment and Planning B: Planning and Design. – 1997. – V. 24 (2). – P. 247-261. 9. *White R.* Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns / *R. White, G. Engelen* // Environment and Planning A. – 1993. – V. 25 (8). – P. 1175-1199. 10. *Li X.* Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS / *X. Li, A.G.O. Yeh* // International Journal of Geographical Information Science. – 2002. – V. 16. – P. 323-343. 11. *Barredo J.* Modelling dynamic spatial processes: simulation of future scenarios through cellular automata / *J. Barredo, M. Kasanko, N. McCormick, C. Lavalle* // Landscape and urban planning. – 2003. – V. 64. – P. 145-160.

*Стаття представлена д.ф.-м.н. проф. ЧНУ ім. Ю. Федьковича
Остановим С.Е.*

УДК 004.825

Методы расчета и построения пространственных полей вероятности урбанизации / Виклюк Я.И., Гаць Б.Н. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 42 – 48.

На примере геоинформационной системы (ГИС) MapInfo приведена методика отбора данных для построения модели пространственных полей вероятности урбанизации. Для расчета поля вероятностей использовалась нечеткая гибридная сеть ANFIS, в результате обучения сформированы FIS-системы с разными типами функций принадлежности. Апробация метода осуществлялась на основе туристических городков Карпатского региона. Ил.: 4. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: ГИС, пространственные поля вероятности, нечеткая гибридная сеть ANFIS, FIS-система, функции принадлежности.

UDC 004.825

Methods of calculations and construction the spatial fields of urbanization probability
/ **Vyklyuk Ya.I., Gats B.M.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 42 – 48.

Method of data selection is brought for the construction of model of the spatial fields of urbanization probability. Method based on the example of the geoinformation system (GIS) MapInfo. For the calculation of probability fields the fuzzy hybrid network ANFIS was used. As a result of teaching FIS-systems with the different types of membership functions were formed. Approbation of the method was implemented on the tourist towns of Carpathian region. Figs.: 4. Refs.: 11 titles.

Key words: GIS, spatial fields of probability, fuzzy hybrid network ANFIS, FIS-system, membership functions.

Надійшла до редакції 21.05.2010

Е.В. ВОЛЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. ГУИиИИ (г. Донецк)

РАСШИРЕНИЕ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ НА ВЗВЕШЕННЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ ВЫБОРКИ W-ОБЪЕКТОВ

В работе рассматривается задача построения решающих правил классификации в адаптивных системах распознавания. Рассмотрена возможность построения решающих правил методом группового учета аргументов по взвешенной выборке w-объектов. Предложены способы использования веса w-объектов в алгоритмах метода группового учета аргументов. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие высокое качество получаемых решающих правил. Табл.: 2. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: решающее правило, метод группового учета аргументов, взвешенная выборка w-объектов.

Постановка проблемы и анализ литературы. Исследования в области построения систем автоматического распознавания в последние годы связаны, в первую очередь, с расширением области их практического использования [1, 2]. Это связано с разработкой большого количества разнообразных устройств (роботов, систем технической и медицинской диагностики, персональных, мобильных и карманных компьютеров), автоматическая работа которых невозможна без распознавания текущего состояния объектов, процессов, явлений и состояний, с которыми эти устройства работают. Не меньшее влияние на развитие систем распознавания оказывают новые информационные технологии, в том числе и технологии Интернет. В этом направлении на основе построения систем распознавания решаются задачи построения новостных порталов и электронных библиотек с автоматической рубрикой документов, почтовых серверов с возможностью "спам"-фильтрации электронной корреспонденции.

Большинство современных прикладных задач, решаемых путем построения систем распознавания, характеризуется большим объемом исходных данных и возможностью добавления новых данных уже в процессе работы систем. Именно поэтому основными требованиями, предъявляемыми к современным системам распознавания, являются:

- адаптивность, состоящая в возможности системы в процессе работы изменять свои характеристики (для обучающихся систем распознавания – корректировать решающие правила классификации) при изменении окружающей среды (добавлении новых объектов обучающей выборки);
- работа в реальном времени, предполагающая наличие возможности формирования решений о классификации за ограниченное время;
- высокая эффективность классификации для линейно разделимых и пересекающихся в признаковом пространстве классов [3].

Системы распознавания, отвечающие таким требованиям, принято называть адаптивными системами распознавания.

Добавление новых объектов, являющееся для большинства прикладных задач достаточно интенсивным, приводит к существенному увеличению размера обучающей выборки, что, в свою очередь, приводит к:

1) увеличению времени корректировки решающих правил (особенно, если используемый метод обучения требует построения нового решающего правила, а не его частичной корректировки);

2) ухудшению качества получаемых решений из-за проблемы переобучения на выборках большого объема [4, 5].

Эти особенности адаптивных обучающихся систем распознавания делают необходимой предобработку обучающих выборок путем сокращения их размера. Известные алгоритмы сокращения размера выборок STOLP, ДРЭТ [6] FRiS-STOLP [7], NNDE (Nearest Neighbor Density Estimate) и MDCA (Multiscale Data Condensation Algorithm) [3] основаны на выборе некоторого подмножества объектов обучающей выборки и удалении остальных. Такой подход, на наш взгляд, не позволяет учитывать плотность распределения объектов выборки в пространстве признаков и динамику изменения значений признаков добавляемых объектов. В работе [8] нами был предложен метод сокращения обучающей выборки путем построения взвешенной выборки w -объектов, позволяющий выполнять сокращение обучающей выборки при не ухудшении качества классификации и решить проблему добавления новых объектов в выборку при минимальном увеличении её размера.

Для обеспечения работы системы в реальном времени предпочтительным является использование методов построения решающих правил, предполагающих их корректировку, например, путем добавления одного или нескольких слагаемых. Одним из наиболее эффективных методов такого типа является метод группового учета аргументов (МГУА) [9, 10]. В основе данного метода лежат не только принципы обучения с учителем, но и самоорганизация, характерная для самообучающихся систем, что позволяет выполнять направленный адаптивный поиск оптимальных решений. Особенностью данного метода является использование малых выборок из-за накладываемых ограничений на сложность используемых полиномов, что может приводить к ухудшению качества получаемых решений [11]. Использование в данном методе взвешенных обучающих выборок w -объектов позволит, на наш взгляд, увеличить эффективность получаемых решающих правил и расширить данный метод на выборки большого объема.

Цель статьи – расширение метода группового учета аргументов для построения решающих правил классификации в обучающихся системах распознавания по взвешенным обучающим выборкам w -объектов.

В качестве исходных данных дано некоторое множество объектов M , называемое обучающей выборкой. Каждый объект X_i из M описывается системой из n признаков, т.е. $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$, и представляется точкой

в линейном пространстве признаков, т.е. $X_i \in R^n$. Для каждого объекта X_i известна его классификация $y_i \in [1, l]$, где l – число классов системы.

Далее опишем метод построения взвешенной выборки w -объектов, алгоритм построения решающих правил классификации на основе МГУА и особенности его реализации по взвешенной выборке w -объектов.

Метод построения выборки w -объектов. В работе [8] нами был предложен метод построения взвешенной обучающей выборки w -объектов для сокращения выборок большого объема в адаптивных системах распознавания. Основой данного метода является выбор множеств близкорасположенных объектов исходной выборки и их замена одним взвешенным объектом новой выборки. Значения признаков каждого объекта новой выборки являются центрами масс значений признаков объектов исходной выборки, которые он заменяет. Введенный дополнительный параметр – вес определяется как количество объектов исходной выборки, которые были заменены одним объектом новой выборки. Предлагаемый метод ориентирован как на сокращение исходной обучающей выборки, так и на анализ необходимости корректировки выборки и быстрое выполнение такой корректировки при пополнении выборки в процессе работы системы.

Построение w -объекта состоит из трех последовательных этапов:

- 1) построение образующего множества W_f , содержащее некоторое количество d объектов исходной выборки, принадлежащих одному классу;
- 2) формирование вектора $X_i^W = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ значений признаков w -объекта X_i^W и расчет его веса p_i ;
- 3) корректировка исходной обучающей выборки – удаление объектов, включенных в образующее множество $X = X \setminus W_f$.

Построение образующего множества W_f состоит в нахождении начальной точки X_{f1} формирования w -объекта, определении конкурирующей точки X_{f2} и выборе в образующее множество W_f таких объектов исходной выборки, расстояние до каждого из которых от начальной точки меньше, чем расстояние от них до конкурирующей точки. В качестве начальной точки X_{f1} формирования w -объекта используется объект исходной обучающей выборки, наиболее удаленный от всех объектов других классов. Конкурирующая точка X_{f2} выбирается путем нахождения ближайшего к X_{f1} объекта, не принадлежащего тому же классу, что и сам X_{f1} , т.е. $y_{f1} \neq y_{f2}$.

Для случая двух классов выбор объектов $\{X_{f1}, X_{f2}, \dots, X_d\}$ образующего множества W_f осуществляется по следующему правилу: объект X_i включается в W_f , если:

- 1) он принадлежит тому же классу, что и начальная точка X_{f1} ;
- 2) расстояние от рассматриваемого объекта до начальной точки X_{f1} меньше, чем до конкурирующей точки X_{f2} ;
- 3) расстояние $R_{i,1}$ от рассматриваемого объекта до начальной точки меньше расстояния $R_{i,2}$ от рассматриваемого объекта до конкурирующей точки и меньше расстояния $R_{1,2}$ между начальной и конкурирующей точками (для случая, когда классы состоят из нескольких отдельных областей признакового пространства).

Таким образом, образующее множество W_f формируется по правилу:

$$W_f = X_{f1} \cup X_{f2} \cup \{X_i \mid R_{i,1} < R_{i,2} < R_{1,2}\}, \quad (1)$$

где $f_1 = \arg \max_{i=1, \dots, d} \sum_{j=1}^d R(X_i, X_j)$,

$$f_2 = \arg \min_{\substack{j=1, \dots, d \\ y_j \neq y_{f1}}} R(X_j, X_{f1}),$$

$$R_{a,b} = R(X_a, X_b) = \sum_{t=1}^n (x_{at} - x_{bt})^2.$$

Значения признаков $\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ нового w-объекта X_i^W формируются по образующему множеству W_f и рассчитываются как координаты центра масс системы из $p_f = |W_f|$ материальных точек (примем, что объекты исходной обучающей выборки, являющиеся в признаковом пространстве материальными точками, имеют массу, равную 1), где $|W_f|$ – мощность множества W_f , т.е.

$$x_{it} = \frac{1}{p_f} \sum_{X_j \in W_f} x_{jt}. \quad (2)$$

После формирования очередного w-объекта, все объекты образующего его множества удаляются из исходной обучающей выборки, т.е. $X = X \setminus W_f$. Алгоритм заканчивает свою работу, когда в исходной обучающей выборке не останется ни одного объекта $X = \emptyset$.

Построение решающих правил классификации с использованием метода группового учета аргументов. Метод группового учета аргументов основан на принципах теории обучения и самоорганизации, в частности, на принципе массовой "селекции" или самоорганизующемся направленном переборе всевозможных вариантов построения решающего правила классификации с отсеечениями [12]. Задача построения решающего правила в МГУА представляется как задача индуктивного построения модели, усложняющейся в процессе работы алгоритма.

Искомой с помощью МГУА моделью (решающим правилом классификации) для рассматриваемой в данной работе задачи будет решающее правило классификации, представляемое в виде полинома Колмогорова-Габбора

$$g(\bar{x}) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \cdot x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\gamma=1}^n \alpha_{ij\gamma} \cdot x_i x_j x_\gamma + \dots,$$

где $\alpha = \{\alpha_0, \alpha_i, \alpha_{ij}, \alpha_{ij\gamma}, \dots | i, j, \gamma = \overline{1, n}\}$ – коэффициенты.

Для определения вектора коэффициентов математической модели по выборке данных применяют метод наименьших квадратов (МНК).

Задача построения решающего правила классификации решается в несколько этапов [11]. Вначале из всех независимых переменных (аргументов) образуются всевозможные группы комбинаций. Традиционно каждая такая комбинация содержит только два аргумента и образует простой полином малого порядка (элементарное решающее правило классификации). Далее выполняется классификация объектов контрольной выборки S_p полученными полиномами и каждый из них оценивается по выбранному критерию селекции. Среди всех полиномов отбирается R_l лучших полиномов, которые являются аргументами новых частных полиномов следующего уровня обобщения и процесс повторяется.

Общая эффективность МГУА обеспечивается следующими принципами:

1) принцип неокончателности промежуточных решений, который состоит в том, что ни одно из полученных на первом уровне решений не принимается за истину, и только часть решений пропускается для дальнейшего усложнения решающего правила;

2) принцип внешнего дополнения, согласно которому для оценки качества полиномов используется контрольная выборка, не участвовавшая в определении коэффициентов полинома;

3) принцип самоотбора, согласно которому на следующий уровень обобщения пропускаются только лучшие полиномы предыдущего уровня;

4) принцип единственности окончательного решения, согласно которому усложнение полиномов происходит до тех пор, пока не прекратится улучшение качества получаемых решающих правил.

Согласно принципу обработки новых объектов обучающей выборки, поступающих в процессе работы системы распознавания, изложенного в [13], данная схема может быть усилена за счет пополнения контрольной выборки новыми объектами и выполнения новых уровней обобщения при неверной классификации добавляемых объектов, что подтверждает эффективность использования МГУА в адаптивных системах распознавания. Для решения проблемы обработки выборок большого размера далее предложим способы учета веса w -объектов при построении полиномов в МГУА.

Способы использования веса w -объектов при построении решающего правила методом группового учета аргументов. Для построения оптимального по выбранным параметрам алгоритма МГУА с использованием взвешенной выборки w -объектов предложим возможные способы учета веса w -объектов.

1. Использование веса w -объектов при расчете весовых коэффициентов частных полиномов любого уровня обобщения. При использовании такого способа частный полином, создаваемый, например, на первом уровне алгоритма, будет иметь вид:

$$g(\bar{x}) = \alpha_0 + \alpha_1 k_i x_i + \alpha_2 k_j x_j + \alpha_3 k_i k_j x_i x_j ,$$

где k_i и k_j – вес i -го и j -го w -объектов соответственно.

Данный способ включения веса w -объектов в частные полиномы позволяет оказывать существенное влияние на принимаемые решения о классификации объектов, имеющих большой вес.

2. Включение веса w -объектов в выбранный критерий селекции. Тогда, например, критерий "минимум смещения плюс регулярность" будет иметь вид

$$\rho_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\alpha \cdot n} k_i \cdot (y(s)_{R_1} - y(s)_{R_2}^2)}{\alpha \cdot \sum_{i=1}^n k_i \cdot y(s)_{R_1}^2} + \frac{\sum_{i=1}^{n_B} k_i \cdot (y(S_i)_{\text{табл}} - y(S_i)_M)^2_i}{\sum_{i=1}^{n_B} k_i \cdot y(S_i)_{\text{табл}}^2}} \rightarrow \min .$$

Отметим, что данный способ учета веса w -объектов позволяет существенно увеличить точность получаемых классификаторов.

3. Использование веса w -объектов для сокращения количества частных полиномов, создаваемых на каждом уровне алгоритма. При реализации такого подхода из всех $Z_N = C_{R_{N-1}}^2 = \frac{R_{N-1} \cdot (R_{N-1} - 1)}{2}$ полиномов создается только некоторая их часть, имеющая максимальное значение веса объектов, входящих в полином.

4. Использование веса w -объектов в алгоритмах с базисными переменными. На любом уровне алгоритма в частные полиномы происходит включение объектов исходной выборки. При использовании взвешенной

обучающей выборки определение объектов, включаемых в полиномы, может осуществляться с учетом их веса.

Результаты экспериментальных исследований. Для оценки качества решающих правил, получаемых с помощью МГУА по взвешенной обучающей выборке, был проведен ряд экспериментальных исследований. Оцениваемыми параметрами базового и модифицированного алгоритмов МГУА являлись:

- качество классификации объектов контрольной выборки (количество неверных классификаций объектов контрольной выборки построенным решающим правилом – $N(S_k)$);

- количество членов полинома mk , от которого зависит скорость выполнения классификации распознаваемых объектов.

Для проведения исследований использовались исходные выборки, созданные по нормальному закону распределения, размером 1500 объектов при различной площади пересечения двух классов, и контрольные выборки размером 100 объектов. Результаты исследований по выбору оптимального способа учета веса w -объектов, описанные выше, усредненные по 50 экспериментам, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость длины решающего правила и количества неверно классифицированных объектов контрольной выборки от способа включения веса w -объектов в искомый полином при изменяющемся размере исходной обучающей выборки

Площадь пересеч. классов, %	Расчет весовых коэффициентов		Включение в критерий селекции		Сокращение кол-ва частных полиномов		Реализация алгоритма базисных функций	
	mk	$N(S_k)$	mk	$N(S_k)$	mk	$N(S_k)$	mk	$N(S_k)$
Классы обособлены	7,3	0	6,4	0	8,5	0	10,4	0
0	12,6	0,02	8,1	0,06	14,7	0,04	15,5	0,02
10	14,1	0,16	10,6	0,4	21,1	0,30	23,7	0,21
20	16,5	0,34	11,9	0,7	33,0	0,56	34,2	0,45
30	18,8	0,52	13,4	1,2	38,9	0,84	47,1	0,68
40	25,8	0,72	19,4	3,7	46,3	1,16	56,3	0,94

Анализ результатов экспериментальных исследований по выбору способа включения веса w -объектов в решающее правило классификации показал, что наиболее эффективным является способ использования веса объектов взвешенной обучающей выборки при расчете коэффициентов полиномов.

Для оценки эффективности использования взвешенного многорядного алгоритма метода группового учета аргументов по сравнению с базовым многорядным алгоритмом МГУА, использующим исходную обучающую выборку, также проведена серия испытаний, в которых выполнялось

построение решающих правил классификации по исходным выборкам различного размера. Площадь пересечения классов для этих выборок в пространстве признаков составляет 20%. Результаты испытаний, приведенные в табл. 2, являются средними по 50 экспериментам.

Таблица 2

Количество неверно классифицированных объектов контрольных выборок для анализируемых алгоритмов метода группового учета аргументов

Размер обучающей выборки	$N(S_k)$ базовым алгоритмом МГУА	$N(S_k)$ взвешенным алгоритмом МГУА
200	0,6	0,4
400	1,4	1,0
600	2,8	1,6
800	4,6	2,4
1000	6,8	3,0

Анализ результатов исследований показал, что независимо от размера обучающей выборки эффективность предложенного в данной работе взвешенного многорядного алгоритма МГУА превышает эффективность базового алгоритма МГУА, построенного по исходной выборке.

Также отметим, что количество уровней построения полиномов во взвешенном алгоритме МГУА в среднем на 20% меньше количества уровней, выполняемых базовым алгоритмом.

Выводы. В работе предложен подход к построению решающих правил классификации адаптивных систем распознавания методом группового учета аргументов по взвешенной выборке w -объектов. По результатам анализа особенностей алгоритмов построения решающих правил методом группового учета аргументов предложены способы включения веса w -объектов в решающие правила и дана оценка степени их влияния на получаемые решения. Проведенное экспериментальное исследование эффективности использования взвешенной обучающей выборки w -объектов в качестве исходных данных при построении решающих правил классификации показало уменьшение времени построения решающего правила классификации в среднем на 20%, увеличение скорости классификации распознаваемых объектов в среднем на 16,5%, увеличение эффективности классификации объектов контрольных выборок.

Таким образом, на основе предлагаемого автором подхода к решению задачи построения решающих правил классификации методом группового учета аргументов по взвешенным обучающим выборкам w -объектов, была решена близкая к рассмотренным ранее задача, что позволяет говорить об универсальности и эффективности использования взвешенных обучающих выборок w -объектов для решения задач построения обучающихся систем распознавания.

Список литературы: 1. Larose D.T. Discovering knowledge in Data: An Introduction to Data Mining / D.T. Larose – New Jersey, Wiley & Sons, 2005. – 224 p. 2. Giudici P. Applied data mining: statistical

methods for business and industry / *P. Giudici*. – Chichester, Wiley & Sons, 2003. – 380 p. **3. Pal S.K.** Pattern Recognition Algorithms for Data Mining: Scalability, Knowledge Discovery and Soft Granular Computing / *S.K. Pal, P. Mitra* – Chapman and Hall/CRC, 2004. – 280 p. **4. Olson D.L.** Advanced Data Mining Techniques / *D.L. Olson, D. Delen* – Springer-Verlag Berlin, 2008. – 180 p. **5. Liu H.** Selective Sampling Approach to Active Feature Selection / *H. Liu, H. Motoda, L. Yu* // Artificial Intelligence. – 2004. – V. 159. – № 1–2. – P. 49–74. **6. Загоруйко Н.Г.** Прикладные методы анализа знаний и данных / *Н.Г. Загоруйко*. – Новосибирск: Издательство института математики, 1999. – 270 с. **7. Zagoruiko N.G.** Methods of Recognition Based on the Function of Rival Similarity / *N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V.V. Dyubanov, and O.A. Kutnenko* // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2008. – Vol. 18. – №.1. – P. 1–6. **8. Волченко Е.В.** Метод построения взвешенных обучающих выборок в открытых системах распознавания / *Е.В. Волченко* // Доклады 14-й Всероссийской конференции "Математические методы распознавания образов (ММРО-14)", Суздаль, 2009. – М.: Макс-Пресс, 2009. – С. 100 – 104. **9. Ивахненко А.Г.** Помехоустойчивость моделирования / *А.Г. Ивахненко, В.С. Стенашко*. – К.: Наукова думка, 1985. – 215 с. **10. Ивахненко А.Г.** Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / *А.Г. Ивахненко* – К.: Наукова думка, 1981. – 296 с. **11. Васильев В.И.** Взаимодополняемость метода группового учета аргументов (МГУА) и метода предельных упрощений (МПУ) / *В.И. Васильев* // Искусственный интеллект. – Донецк: ИПИИ, 2001. – № 1. – С. 29–42. **12. Белозерский Л.А.** Анализ и обработка априорной информации в конструировании систем автоматического распознавания (САРС) / *Л.А. Белозерский, А.И. Шевченко*. – Донецк, ИПИИ "Наука і освіта", 2007. – 180 с. **13. Волченко Е.В.** Предобработка обучающих выборок в открытых системах автоматического распознавания / *Е.В. Волченко* // Труды Международной научной конференции "Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI'2009)". – Евпатория. – 2009. – С. 43–51.

Статья представлена д.ф.-м.н. проф., проректором по науч.-педагог. и учеб. работе ГУИИИИ МОН Украины Миненко А.С.

УДК 004.93'1

Розширення методу групового врахування аргументів на зважені навчальні вибірки w-об'єктів / Волченко О.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 49 – 57.

У роботі розглянуто задачу побудови вирішуючих правил класифікації в адаптивних системах розпізнавання. Розглянуто можливість побудови вирішуючих правил методом групового врахування аргументів по зваженій вибірці w-об'єктів. Запропоновано способи використання ваги w-об'єктів в алгоритмах методу групового врахування аргументів. Наведено результати експериментальних досліджень, що підтверджують високу якість отримуваних вирішуючих правил. Табл.: 2. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: вирішуюче правило, метод групового врахування аргументів, зважена вибірка w-об'єктів.

UDC 004/93'1

Expansion of the group method of data handling on the weighted training sample of w-objects / Volchenko E.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 49 – 57.

The problem of decision rules construction for classification in adaptive recognition systems is considered. The possibility of decision rules construction on weighted training samples of w-objects with the help of the group method of data handling is considered. The ways of using w-objects weights in the algorithms of the group method of data handling are offered. The effectiveness of the proposed method is shown on the test data. Tables: 2. Refs: 12 titles.

Key words: decision rule, group method of data handling, weighted sample of w-objects.

Поступила в редакцію 13.05.2010

В.В. ВЫСОЦКИЙ, докторант МАУП, начальник управления информационной безопасности, ООО "Итер Ком" (г. Киев)

ПРОБЛЕМЫ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ ПРИ АУТСОРСИНГЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСЛУГ

Рассмотрены причины, приводящие к передаче управления информационными процессами и функциями на обслуживание другой организации (аутсорсинг), а также угрозы, возникающие при этом. Предложены технические и административные методы и способы уменьшения рисков, связанных с различными видами угроз информационной безопасности, возникающие при аутсорсинге ИТ-услуг. Табл.: 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: информационные процессы, аутсорсинг, угрозы информационной безопасности, уменьшение рисков.

Постановка проблемы. В настоящее время, в период стремительно изменяющихся технологий, выживают и добиваются успеха те компании, которые ведут свой бизнес наиболее эффективным способом, снижая операционные расходы и сохраняя высокое качество товаров и услуг.

Одной из наиболее современных и успешных бизнес-моделей, позволяющих добиться реальных конкурентных преимуществ, является аутсорсинг, в частности ИТ-аутсорсинг, который предполагает делегирование внешней специализированной компании решение вопросов, связанных с разработкой, внедрением и сопровождением информационных систем как целиком на уровне инфраструктуры предприятия (сопровождение оборудования или ПО), так и объёмов работ, связанных с развитием и/или поддержкой функционирования отдельных участков системы.

При ИТ-аутсорсинге изменяются степени угроз безопасности информации, уменьшаются и исчезают одни виды рисков, а также появляются и увеличиваются другие виды рисков. Особенно остро данный вопрос касается небольших организаций, которые обычно не могут позволить себе содержать отдельного специалиста по информационной безопасности. Таким образом, стоит задача выявления рисков, возникающих и увеличивающихся при аутсорсинге информационных процессов, их оценка, а так же определение способов уменьшения таких рисков для малых и средних организаций.

Анализ литературы. В мировой практике отмечается стремительный прорыв аутсорсинговых технологий в менеджменте организаций [1 – 10]. В научных публикациях последнего десятилетия определены основные пути и методы перехода на аутсорсинг [1]; формы аутсорсинга [2]; описаны концепции и техники использования различных моделей оценки рисков [3, 6, 8].

Выделяют следующие основные причины аутсорсинга [4,8]:

1. Отказ от непрофильных видов деятельности.

2. Необходимость повышения качества обслуживания.

3. Финансовая причина, за которой следует желание компании сфокусироваться на основных видах деятельности [8].

В современном менеджменте организаций можно выделить три основные формы ИТ-аутсорсинга [2]:

- Ресурсный аутсорсинг (аутсорсинг персонала).

- Функциональный аутсорсинг.

- Стратегический аутсорсинг – подразумевает полную передачу управления ИТ-службами компании аутсорсеру.

Как и большинство других государств, Украина испытывает дефицит специалистов сферы информационных технологий (ИТ). По данным аналитической компании IDC [5] из года в год увеличивается нехватка специалистов в области сетевых технологий. В связи с этим, содержание полноценного штата квалифицированных сотрудников ИТ-отдела в данный момент достаточно дорогостояще и не всегда возможно. В этом случае имеет смысл воспользоваться услугами компаний-аутсорсеров. Это позволит наладить работу информационных систем, решить проблему нехватки высококвалифицированных ИТ-специалистов, уменьшить затраты на обеспечение работы ИТ-отдела, сфокусироваться на ведении основного бизнеса. Но при переходе на аутсорсинг возникают новые риски и увеличивается вероятность некоторых существующих рисков. Большинство новых рисков аутсорсинга было рассмотрено в литературе на протяжении последних десяти лет, в то время как вопросу роста рисков информационной безопасности при аутсорсинге уделялось мало внимания.

Цель статьи – анализ рисков безопасности информации, возникающих при передаче управления собственными информационными процессами и функциями малых и средних предприятий на обслуживание другой организации, а так же разработка рекомендаций по минимизации как самих рисков, так и вероятности их происхождения для малых и средних предприятий.

Виды угроз, возникающих при использовании информационных технологий, и первичный анализ изменения степени риска при аутсорсинге. По природе возникновения угрозы можно разделить на два класса:

- естественные или объективные – вызванные стихийными природными явлениями, не зависящими от человека. При аутсорсинге данный вид угроз может быть полностью устранен, например, за счет географически разнесенных хранилищ данных, резервных офисов и т.п.

- искусственные или субъективные, которые, в свою очередь, можно разделить на непреднамеренные угрозы, вызванные ошибками при проектировании, во время монтажа оборудования и его эксплуатации – при аутсорсинге уменьшаются; и преднамеренные угрозы, связанные с

определенными устремлениями людей, такими как терроризм, забастовки, хищения, кражи, несанкционированный доступ в компьютерные сети и т.п.

Умышленные угрозы подразделяются на активные и пассивные. Пассивные – направлены на несанкционированное использование информационных ресурсов, не оказывая при этом влияния на ее функционирование. Активные угрозы имеют целью нарушение нормального функционирования информационной системы путем целенаправленного воздействия на ее компоненты.

При аутсорсинге наиболее значимыми угрозами информационной безопасности являются утечка и компроментация информации, несанкционированное использование информационных ресурсов, нарушение информационного обслуживания, незаконное использование привилегий. Это происходит из-за того, что компания-исполнитель получает доступ к конфиденциальным данным и оборудованию предприятия, тем самым увеличивается количество людей, имеющих такой доступ.

Зависимость степени рисков от форм и методов аутсорсинга. Исходя из видов угроз можно определить, что при необходимости повышения качества обслуживания, в случае внедрения аутсорсинга будут уменьшаться риски, связанные с естественными и искусственными причинами, но при этом будет увеличиваться вероятность угроз, источник которых расположен внутри контролируемой зоны, за счет доступа к этой зоне организации, осуществляющей аутсорсинг. При этом, в общем, опасность перебоев в работе сервиса будет уменьшаться, особенно если используется ресурсный аутсорсинг и несколько поставщиков ресурсов.

В случае превалирования финансовой составляющей, изменение степени риска зависит от опыта и знаний, которыми обладали уволенные сотрудники ИТ по сравнению с опытом и знаниями сотрудников, работающих в организации, предоставляющей аутсорсинг. При прочих равных условиях, степень риска будет увеличиваться за счет внутренних угроз.

Аутсорсинг за счет отказа от непрофильных видов деятельности несет в себе те же риски, что и аутсорсинг по финансовым причинам, но при этом финансовая составляющая не имеет такого приоритета, что позволяет использовать больше ресурсов и за счет этого уменьшить внешние риски.

Оценка важности различных сервисов. Была произведена оценка важности различных сервисов до и после передачи на аутсорсинг. Оценка основывалась на качественной модели, опросы проводились среди руководителей малых и средних предприятий, менеджеров по бизнес-направлениям, менеджеров ИТ.

Итоговая оценка указывается в виде удельного веса важности каждого сервиса, т.е. чем больше вес, тем больше влияние данного сервиса на работу организации и тем более важной является задача минимизации как самого риска, так и его вероятности.

Таблица 1

Оценка важности сервисов

Сервис	Вероятность передачи на аутсорсинг, %	Риск перебоев в работе сервиса, %		Риск уничтожения данных, %		Риск утери данных, %	
		До	После	До	После	До	После
Электронная почта	85	70	15	52	0	86	86
Системы мгновенной передачи сообщений (IM)	95	23	30	8	0	35	50
Системы совместного пользования данными	60	82	20	93	0	75	90
Представительские WEB-приложения	95	3	0	40	0	0	0
Бухгалтерские приложения	50	48	20	96	0	78	85
Системы ERP	70	85	37	92	0	64	85
Системные приложения	90	78	10	5	0	0	0
Офисные приложения (календарь, список задач, менеджер проектов и т.п.)	85	24	10	77	0	12	20
Служба печати	70	43	20	0	0	45	50
Локальная вычислительная сеть	70	98	30	0	0	67	85
Интернет	100	56	56	0	0	23	23
Система документооборота	80	23	23	87	0	68	80
Юридическая справочная система	100	48	0	0	0	0	0

Под риском перебоев в работе сервиса понимается временная недоступность сервиса на срок, критичный для данной организации. Риск утери данных означает вероятность того, что данными завладеет конкурирующая фирма. Риск уничтожения данных означает вероятность безвозвратной потери данных без возможности их восстановления.

Исходя из данных таблицы, можно сделать следующие выводы:

- в небольших организациях уделяется мало внимания утере данных, обычно гораздо меньше, чем уничтожению
- все респонденты отметили отсутствие опасности уничтожения данных при условии наличия у них резервных копий данных, находящихся у

поставщика услуг. Следует учесть, что некоторые сервисы, такие как Интернет, являются переданными на аутсорсинг по-умолчанию.

– респонденты отмечают повышение риска утери данных при передаче сервисов на аутсорсинг, это показывает их боязнь, что данные попадут к конкурентам либо окажутся в открытом доступе, в случае если компания-аутсорсер будет иметь доступ к этим данным. При этом данная величина не имеет обратной корреляции со степенью готовности передать перечисленные сервисы на аутсорсинг, хотя такое соответствие следовало бы ожидать.

Рекомендации по минимизации рисков. Одним из основных технических методов по минимизации рисков от внедрения ИТ-аутсорсинга является разграничение доступа, например, компания-аутсорсер, в первую очередь, может взять под свой контроль средства защиты от внешних угроз, при этом клиент сконцентрируется непосредственно на внутренних критичных ресурсах сети. Такой подход уменьшает риски от внешних угроз, но при этом практически не увеличивает внутренние риски, например, от утечки данных. Также доступ можно ограничить исходя из степени секретности информации, т.е. клиент предварительно проводит анализ собственных данных и на аутсорсинг передаются только те ИТ-ресурсы, которые не содержат критически важной информации.

К административным методам минимизации рисков можно отнести, во-первых, работа компании-аутсорсера по международным стандартам, следствием чего является прозрачность, контролируемость и экономическая обоснованность аутсорсинговых процессов. Во-вторых, четкое разграничение зон ответственности, определение задач поставщика аутсорсинговых услуг и закрепление всего этого в соответствующих соглашениях. Единственный аспект, неподвластный соглашениям и международным стандартам, это "человеческий фактор".

Одним из важнейших требований при аутсорсинге является мониторинг ключевых показателей эффективности, по которым можно отслеживать эффективность построенной системы информационной безопасности и которые могут быть интегрированы в систему управления рисками. Кроме того, должен выполняться мониторинг заранее установленных мероприятий, нацеленных на уменьшение объема убытка или частоты появления рисков.

При оценке влияния поставщика ИТ услуг на степень риска можно исходить из идеализированного представления о таком поставщике, так как степень приближения к идеальности можно определить еще при выборе такого поставщика. В этом случае опасность перебоев и опасность уничтожения данных стремятся к нулю. Для оценки вероятности возникновения таких опасностей у конкретного поставщика услуг достаточно выяснения таких вещей как: наличие процедур резервного копирования и восстановления, дублирование каналов связи, географическое разнесение хранилищ данных. Учитывая это, значимой является только опасность утери данных, что позволяет предложить следующие методы для уменьшения этих рисков:

- первоначально выводить на аутсорсинг только сервисы с низким удельным весом потери данных;
- в случае систем совместного использования данных, а также других систем, где это возможно, осуществлять шифрование данных;
- периодическое предоставление клиенту резервной копии данных, принадлежащих клиенту, но находящихся у поставщика аутсорсинга.

Выводы. Сделанный анализ и методы уменьшения рисков относятся к малым и средним предприятиям, так как крупные предприятия имеют больше возможностей для административного и технического управления рисками, вплоть до выделения отдельных сотрудников или даже отделов для этого. При этом в малых предприятиях существует тенденция к переносу своих ИТ-сервисов на аутсорсинг, но практически отсутствуют ресурсы для контроля предоставляемых услуг. В результате проделанной работы были проанализированы и оценены основные риски, возникающие при передаче управления информационными процессами малых и средних предприятий сторонней организации, а также определены методы уменьшения рисков, что имеет важное значение в современных условиях, т. к. все больше предприятий используют аутсорсинг ИТ-услуг.

Список литературы: 1. *Sparrow E. Successful IT Outsourcing / Elizabeth Sparrow*. – Springer, 2003 – 288 p. 2. ИТ-аутсорсинг гайд [Электронный ресурс] : (портал Outsourcing). – 2010 – Режим доступа: <http://www.outsourcing.ru/content/rus/rubr58/rubr-583.asp> – Назва з екрана. 3. *Embrechts P. Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques, and Tools / Alexander J. McNeil, Rüdiger Frey, Paul Embrechts*. – Princeton University Press, 2005. – 608 p. 4. *Хейвуд Дж. Б.* Аутсорсинг. В поисках конкурентных преимуществ / *Хейвуд Дж. Б.* – Вильямс, 2002 – 176 с. 5. Дефицит специалистов по сетевым и телекоммуникационным технологиям к 2008 году может стать критическим [Электронный ресурс] (Cisco Systems, Inc.) – 2005 – Режим доступа: <http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/0443.html> – Назва з екрана. 6. *Miora M. Quantifying the Business Impact Analysis: A New Model / M. Miora* [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.miora.com/articles/gcc.htm>. 7. *Беркович В.* Вопросы информационной безопасности при аутсорсинге ИТ-процессов компании / *В. Беркович, А. Контелов* [Электронный ресурс] – 15.05.2007 – Режим доступа <http://citcity.ru/15815/>. 8. *Wilson K. Deep Dive: Emerging Challenge: Risk Management in an Outsourced World / K. Wilson* [Электронный ресурс] – 2009 – Режим доступа: <http://www.corporatecomplianceinsights.com/wp-content/uploads/pdf/risk-management-in-outsourced-world-karen-wilson.pdf>. 9. Информационные технологии управления: Учеб. пособие для вузов / Под ред. проф. Г.А. Титоренко. – 2-е изд., доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 439 с.

Статья представлена д.т.н., ведущим научным сотрудником физико-механического института им. Г.В. Карпенка НАНУ А.Я.Тетерко.

УДК 004.056.5

Проблеми мінімізації ризиків при аутсорингін інформаційних послуг / Висоцький В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 58 – 64.

Розглянуті причини, що призводять до передачі управління інформаційними процесами та функціями на обслуговування сторонньому підприємству (аутсорсинг), а також загрози, які виникають при цьому. Запропоновані технічні й адміністративні методи та способи зменшення ризиків, що пов'язані з різними видами загроз інформаційній безпеці, які виникають при

аутсорсингу IT-послуг. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: інформаційні процеси, аутсорсинг, загрози інформаційній безпеці, зменшення ризиків.

UDC 004.056.5

Problems of minimization of risks at outsorsinge of informative services / Visotsky V.V.

// Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling.

– Kharkov: NTU "KhPI", – 2010. – №. 31. – P. 58 – 64.

The reasons leading to the transfer of information management processes and functions in the service of another organization (outsourcing), as well as the threats arising in this case. The technical and administrative methods and ways to mitigate the risks associated with various types of information security threats arising from the outsourcing of IT services. Tabl.: 1. Refs.: 9 titles.

Keywords: information processes, outsourcing, information security threats, reducing risks.

Поступила в редакцію 01.04.2010

Т.В. ГЛАДКИХ, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
С.Ю. ЛЕОНОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РИСКОВ СБОЕВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В статье рассматриваются вопросы использования системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления совместно с нейронной сетью для определения возможных мест сбоев и типов сбоев при проектировании вычислительных устройств. Это дает возможность выявлять "узкие" места при автоматизированном проектировании и выдавать количественную информацию насколько эти места опасны. Рис.: 3. Табл.: 6. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: система, K -значное дифференциальное исчисление, нейронная сеть, риски сбоев.

Постановка задачи. Существующие вычислительные устройства характеризуются частотой работы в несколько гигагерц и большой степенью интеграции элементов. Это приводит к тому, что даже небольшие отклонения при переключательных процессах на входах и выходах элементов могут вызывать сбои в работе устройств. В связи с этим достаточно актуальным становится вопрос исследования формы переключательных процессов в вычислительных устройствах и влияние на их работоспособность всплесков и провалов напряжений логических сигналов. Процесс обнаружения и поиска неисправностей в них становится все более трудоемким и длительным как в статических, так и в динамических режимах.

Анализ литературы. Одной из первых работ, посвященной моделированию цифровых устройств на основе анализа переключений в логических элементах с помощью дифференциальных соотношений, была работа Д. Бохмана и Х. Постхофа [1]. В этой работе заложены основы булевого дифференциального исчисления. С помощью вычисления булевой производной описывалось наличие или отсутствия переключения логического сигнала из одного устойчивого состояния в другое. Однако булево дифференциальное исчисление лишь немного расширило рамки стандартного двузначного анализа цифровых схем.

Многозначное моделирование для тестирования электронных схем развивалось многими авторами, в частности, в работах Ю.А. Скобцова [2, 3]. Им же для тестирования использовалось многозначное моделирование. Однако использование многозначного моделирования как формы представления переключательного процесса из одного устойчивого состояния в другое несколько ограничивало возможности использования многозначного алфавита.

Для наиболее полного анализа работоспособности радиоэлектронных устройств в дальнейшем были разработаны методы анализа, которые позволяли, с одной стороны, адекватно описывать процессы в цифровых

системах, математическое описание которых содержит дифференциальные и интегральные операторы, а с другой – позволяли выполнить численный анализ процессов в цифровых и гибридных системах с допустимыми затратами. Для этого был разработан математический аппарат K -значного дифференциального и интегрального исчисления и система моделирования на его основе [4], позволяющие исследовать квантованные на $(K-1)$ ступеньку по амплитуде переключательные процессы, где K – значность входного алфавита.

Основная часть. В системе моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления [5] используется многозначность, которая отличается от многозначных алфавитов, приводимых в литературе [6, 7]. Наиболее информативным в традиционной интерпретации многозначной логики является алфавит Фантози [8], который позволяет при уже моделировании дифференцировать статические и динамические риски сбоев, поскольку к трем базовым состояниям алфавита Ейхельбергера [9] ("1" – статическая единица, "0" – статический ноль и "X" – неопределенность), добавляются те, которые обозначаются как плавный переход из "0" в "1" (E), плавный переход из "1" в "0" (H), статический риск сбоя в "0" (P), статический риск сбоя в "1" (V), динамический риск сбоя из "0" в "1" (F), динамический риск сбоя из "1" в "0" (L). Кроме этого в алфавит вводятся еще четыре символа: переход из "X" в "0" (O), переход из "X" в "1" (I), переход из "0" в "X" (A) и переход из "1" в "X" (B), что позволяет различать фазы неопределенности и устойчивости. Применение многозначных алфавитов дает возможность идентифицировать риски сбоев, гонки и соревнования сигналов, что весьма существенно для комбинационных устройств, где необходимо находить критические места в целях последующей модификации схем и устранения соревнований.

Несмотря на то, что суть многозначного представления сигналов в математическом аппарате на основе K -значного дифференциального исчисления не является некоторой разновидностью многозначного алфавита, этот метод позволяет с успехом идентифицировать все разновидности сигналов, описываемых тринадцатизначным алфавитом Фантози. При этом помимо качественной оценки, которую могут дать многозначные алфавиты, при использовании данного подхода, можно оценить амплитуду, длительность и форму импульса. Так, на рис. 1 проиллюстрировано представление всех тринадцати видов сбоев в K -значном виде при использовании семизначного алфавита.

В соответствии с приведенным рисунком при использовании тринадцатизначного алфавита сигнал "_0" соответствует статическому сигналу нулевого уровня, сигнал "_1" – значению уровня статической "единицы". Далее "_A" соответствует переходу из нуля в неопределенность, "_B" – переходу из единицы в неопределенность, "_E" – гладкому переходу из нуля в единицу, "_F" – динамическому риску сбоя из нуля в единицу, "_H" – гладкий переход из единицы в ноль, "_I" – переходу из неопределенности в единицу,

" L " – динамическому риску сбоя из единицы в ноль, " P " – статическому риску сбоя в нуле, " O " – переходу из неопределенности в ноль, " I " – статический риск сбоя в единицу, " X " – неопределенности.

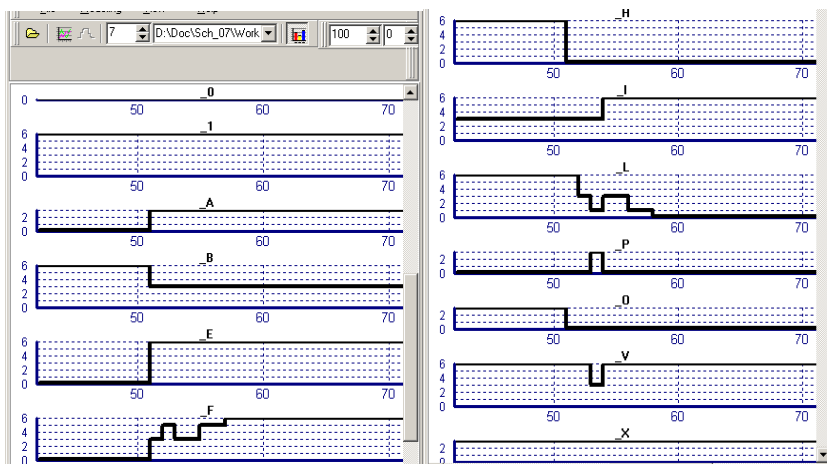


Рис. 1. Представление тринадцати видов сбоев в K -значном виде при использовании семизначного алфавита

Рассмотрим результат моделирования элемента полного сумматора в представленной системе на основе K -значного дифференциального исчисления, схема которого в системе на основе K -значного дифференциального исчисления и результаты его моделирования в этой системе показаны на рис. 2. На этом рисунке можно увидеть сигнал сбоя в "1", который в алфавите Фантози соответствует статическому риску сбоя в "1". Сбой в устройстве может быть из-за из-за "провала" выходного сигнала на выходе S , который имел место в момент времени 430 нс, аналогичного вида сбой на выходе переноса P в момент времени 630 нс, а также сбыйный "всплеск" выходного сигнала на выходе переноса P в момент времени 230 нс. Такие сбои в выходных сигналах сумматора могут приводить к ошибочной работе устройств, входы которых используют для своей работы выходные сигналы сумматора.

Использование системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления позволяет в данном случае получать более полную качественную и количественную характеристику сбоев по сравнению с существующими системами многозначного моделирования, в которых нет возможности представлять квантованный по амплитуде логический сигнал в K -значном алфавите.

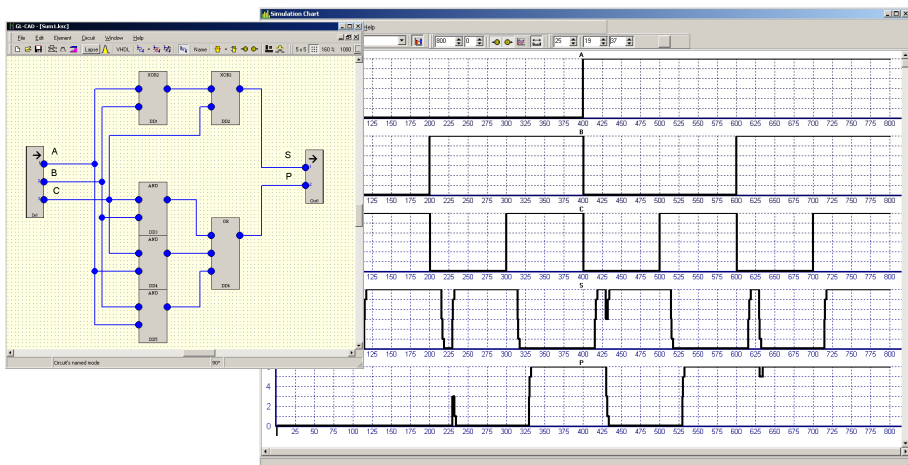


Рис. 2. Демонстрация работы сумматора с индикацией рисков сбоя

Основным недостатком модели основного элемента [5] является отсутствие возможности автоматизации определения сбоев при его функционировании. В подобном случае идентификация сбоя выявляется проектировщиком на окончательном этапе проектирования устройства при получении временных диаграмм функционирования. Для получения возможности автоматизации процесса выявления ошибочных ситуаций при проектировании, модель такого элемента дополняется устройством анализа накопленных значений выходных сигналов, которые накапливаются в выходных буферах. Размер такого буфера определяется значениями задержек в отдельных логических элементах. Роль такого устройства может играть нейронная сеть, число сенсорных нейронов которой определяется размером буферного элемента, а число нейронов на выходе – количеством сбоев, которые идентифицируются. Введение нейронной сети в структуру такого элемента позволит усовершенствовать процес его диагностики и уменьшить влияние "человеческого фактора" при определении его работоспособности и уменьшить время анализа работоспособности. На рис. 3 представлена расширенная модель элемента вычислительной техники в системе K -значного моделирования с добавлением нейронной сети для распознавания сигналов на выходе:

Приведенная модель имеет входы $U_{\text{вх}_1}(t_i) - U_{\text{вх}_n}(t_i)$ и управляющие сигналы $Ctrl$ и $Ctrl-Sb$ для управления состоянием модели элемента вычислительной техники и управления блоком формирования входных сигналов для нейронной сети. Выходными являются сигналы $U_{\text{вых}_1}(t_i) -$

$U_{\text{Вых}_n}(t_i)$, которые являются входными для блока формирования входных данных для нейронной сети.

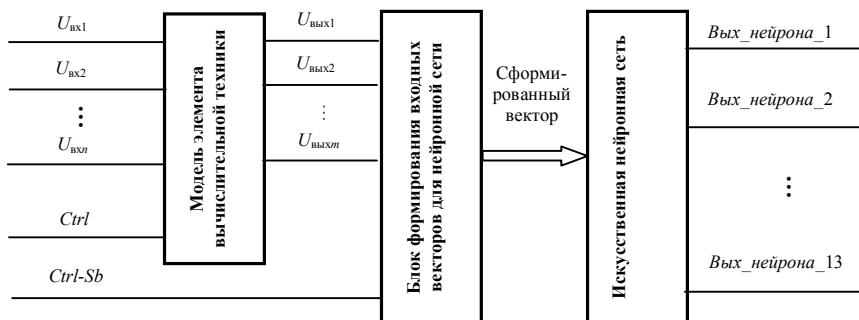


Рис. 3. Схема взаимодействия модели элемента вычислительной техники и нейронной сети

Таким образом, наша задача сводится к разработке некоторой системы классификации сигналов, полученных с выхода элемента проектируемого устройства, которая должна сигнализировать проектировщику о возможной проблеме. Задача усложняется тем, что сбои одного и того же класса не только могут представлять собой сигналы различной формы, но и быть распределенными по времени.

Наиболее естественным методом решения подобных задач является использование аппарата искусственных нейронных сетей. В качестве среды разработки нами был выбран инструментарий NNTool среды MatLab. Из предлагаемых в MatLab возможных вариантов нейронных сетей, наиболее подходящей для решения нашей задачи оказалась нейронная сеть обратного распространения ошибки (Back Propagation) с архитектурой FeedForward Propagation

Для решения задачи классификации возможных сбоев на выходе отдельного элемента, сеть должна иметь тринадцать выходов, срабатывание каждого из которых соответствует одному из тринадцати видов сбоев, которые могут диагностироваться. Все тринадцать видов сбоев распределены по временной оси длительностью 15 тактов времени. Например, это может быть 15 нс, что соответствует принятой длительности задержки логических элементов. Например, сигнал, соответствующий динамическому риску сбоя типа " F " представляется следующим образом:

« F »														
0	0	0	0	0	0	3	3	5	3	3	5	5	6	6

Поскольку в промежутке времени 15 тактов сбойная ситуация может возникнуть в любой момент времени, поэтому сформированы векторы на которых в различные моменты времени на протяжении интервала 15 тактов появляется сбой типа "F" (табл. 1).

В этой таблице представлены восемь вариантов сбоя вида "F" смещенных по временной оси. Видно, что это максимально возможное число комбинаций, которое можно "вписать" в отведенный временной интервал, и, как показал эксперимент, использование меньшего числа вариантов смещения по временной оси сбоя типа "F", оказывается недостаточным для корректной настройки нейронной сети.

Таблица 1

« F »														
0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6
0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6
0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6
0	0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6
0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6
0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6
0	0	0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6
0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6

Аналогично формируются векторы и для других видов сбоя, с той лишь разницей, что сбой вида "1" и "0" нет необходимости перемещать по временной оси, поскольку они от этого не меняются, а сбой вида "A" пришлось смещать большее количество раз в виду того, что интересующая нас динамика занимает лишь три временных шага, что, соответственно, привело к 14-ти возможным вариантам этого сигнала.

Таким образом, было получено 114 векторов обучающей последовательности, каждый из которых подразумевает под собой один из вариантов сбоя из алфавита Фантози. Каждому из этих векторов был поставлен в соответствие вектор размерностью 1x13, позиция единственного активного разряда которого равен порядковому номеру соответствующей входной комбинации (табл. 2):

Таблица 2

№	1	2	3	4	5	6	7
Вид сбоя	« 0 »	« 1 »	« A »	« B »	« E »	« F »	« H »
№	8	9	10	11	12	13	
Вид сбоя	« I »	« L »	« O »	« P »	« V »	« X »	

Нейронная сеть была успешно настроена за 300 эпох и ошибка распознавания составила 10^{-7} .

После настройки нейронной сети необходимо было убедиться, что она способна идентифицировать сбой даже в том случае, если они по форме и длительности отличаются от тех, которые использовались при ее настройке. Для этого при формировании тестовой последовательности случайным образом выбирались сигналы из обучающей последовательности, форма которых впоследствии модифицировалась. Так, для примера приведем четыре экземпляра тестовой последовательности (сбои типа *"_A"*, *"_B"*, *"_H"* и *"_I"*), что показано в табл. 3.

Таблица 3

Сигнал	Имя	« A »														
Исходный		0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 1	A1	0	0	0	0	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 2	A1	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Сигнал	Имя	« B »														
Исходный		6	6	6	6	6	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 1	B1	6	6	6	6	6	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 2	B1	6	6	6	6	6	5	5	4	3	3	3	3	3	3	3
Сигнал	Имя	« H »														
Исходный		6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Измененный 1	C1	6	5	6	6	6	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Измененный 2	C1	6	5	6	6	6	6	3	3	1	0	0	1	0	0	0
Сигнал	Имя	« I »														
Исходный		3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Измененный 1	D1	3	3	3	3	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Измененный 2	D1	3	3	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

После моделирования нейронной сети приведенных восьми измененных вариантов были получены следующие результаты (табл. 4):

Таблица 4

Сигнал	№ класса (тип сбоя)	Вероятность распознавания	Сигнал	№ класса (тип сбоя)	Вероятность распознавания
A1	3 (" A")	0.9933	C1	7 (" H")	0.9999
A1	3 (" A")	0.9901	C1	7 (" H")	0.9998
B1	4 (" B")	0.9997	D1	8 (" I")	0.9900
B1	4 (" B")	0.9978	D1	8 (" I")	0.9879

По результатам проведенного тестирования работы нейронной сети можно сделать выводы о том, что она работает корректно и результаты распознавания тестовых сигналов вполне удовлетворительны. Причем, при подаче на вход нейронной сети последовательности, отличающейся от тестовой, нейронная сеть ее распознает и относит к наиболее близкой по виду

тестовой последовательности. Это дает возможность исследовать переходные процессы переключения не только для жестко запрограммированных форм.

Достаточно интересной, на наш взгляд, является попытка проверить работу спроектированной нейронной сети на сигналах, которые являются результатами работы некоторого реального устройства (например, сумматора, приведенного на рис. 2), а не искусственно сформированной тестовой последовательности. Для этого результаты, представленные на рис. 2, были разбиты на временные промежутки длительностью 15 нс. Например, в интервале 15 нс на выходах сигналов суммы S и переноса P устройства можно выделить следующие комбинации (табл. 5):

Таблица 5

№	Имя	Интервал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	P	[325, 340]	0	0	0	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	S	[312, 327]	6	6	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	P	[325, 340]	0	0	3	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	S	[425, 440]	6	6	6	3	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6
5	P	[323, 338]	0	0	0	0	0	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6
6	S	[310, 325]	6	6	6	6	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	P	[323, 338]	0	0	0	0	3	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0
8	S	[423, 438]	6	6	6	6	6	3	3	3	5	5	6	6	6	6	6
9	P	[320, 335]	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5	6	6	6	6	0
10	S	[307, 322]	6	6	6	6	6	6	6	3	1	1	0	0	0	0	6
11	P	[320, 335]	0	0	0	0	0	0	3	3	3	1	1	0	0	0	0
12	S	[420, 435]	6	6	6	6	6	6	6	3	3	3	5	5	6	6	6

При подаче на вход нейронной сети этих последовательностей были получены результаты, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

№	№ сбоя	Вероятность распознавания	№	№ сбоя	Вероятность распознавания	№	№ сбоя	Вероятность распознавания
1	5	0.9974	5	5	0.9994	9	5	0.9898
2	7	0.9997	6	7	0.9997	10	7	1.0000
3	11	0.9999	7	11	1.0000	11	11	0.9999
4	12	0.9214	8	12	0.9106	12	12	0.9215

Номера 5, 7, 11 и 12 соответствуют сбоям " $_E$ ", " $_H$ ", " $_P$ " и " $_V$ " соответственно.

Выводы. Таким образом, разработанная нейронная сеть совместно с системой моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления с большой степенью вероятности может определить вид имеющихся в проектируемом устройстве сбоев. Проведенная серия тестов

демонструє, що спроектована нейронна мережа працює адекватно не тільки з штучно сформованими вхідними даними, але й з реальними даними, отриманими при моделюванні комбінаційного пристрою. Все це говорить на користь того, що впровадження такої нейронної мережі в склад базового елемента системи моделювання на основі K -значного диференціального числення, допоможе помітно удосконалити процес перевірки працездатності пристроїв на етапі їх проектування.

Список литературы: 1. Бохман Д. Двоичные динамические системы / Д. Бохман, Х. Постхоф. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400 с. 2. Барашко А.С. Моделирование и тестирование дискретных устройств / А.С. Барашко, Ю.А. Скобцов, Д.В. Сперанский. – К.: Наукова думка, 1992. – 288 с. 3. Скобцов Ю.А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / Ю.А. Скобцов, В.Ю. Скобцов. – Донецк: ИПММ НАН Украины, ДонНТУ, 2005. – 436 с. 4. Дмитриенко В.Д. Моделирование передачи данных с помощью K -значных дифференциальных моделей / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вестник НТУ "ХПИ". – 2005. – Вып. 46. – С. 67 – 76. 5. Гладких Т.В. Верификация динамических параметров электронных устройств на основе K -значного дифференциального исчисления: дис. канд. техн. наук: 05.13.05 / Т.В. Гладких. – Харьков, 2007. – 341 с. 6. Lee C.K. Single-electron-based flexible multivalued logic gates / C.K. Lee, S.J. Kim, S.J. Shin, J.B. Choi, Y. Takahashi // Applied physics letters. – V. 92. – 2008. 7. Vasundara Patel Arithmetic operations in Multi-Valued logic / Patel Vasundara, Gurumurthy // International Journal of VLSI design & Communication Systems (VLSICS). – Vol. 1. – № 1. – March 2010. – P. 21 – 32. 8. Aktouf C. A complete strategy for testing an on-chip multiprocessor architecture / C. Aktouf // IEEE Design & Test of Computers. – 2002. – Issue:1. – P. 18 – 28. 9. Хаханов В.И. Техническая диагностика элементов и узлов персональных компьютеров / В.И. Хаханов. – К.: ИЗМН, 1997. – 308 с

Статья представлена д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Дмитриенко В.Д.

УДК 681.3

Автоматизация выявления рисков збоїв за допомогою нейронної мережі / Т.В. Гладких, С.Ю. Леонов // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 65 – 73.

У статті розглядаються питання використання системи моделювання на основі K -значного диференціального числення спільно з нейронною мережею для визначення можливих місць збоїв і типів збоїв при проектуванні обчислювальних пристроїв. Це дає можливість виявляти "вузькі" місця при автоматизованому проектуванні і видавати кількісну інформацію, наскільки ці місця небезпечні. Рис.: 3. Табл.: 6. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: система, K -значне диференціальне числення, нейронна мережа, ризики збоїв.

UDC 681.3

Automation of exposure risks of failures by neuron network / T.V. Gladkikh, S.Yu. Leonov // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 65 – 73.

In the article the questions of the use of the design system are examined on the basis of K -value differential calculation jointly with a neuron network for determining the possible location failures and type failures at planning of computing devices. It enables to expose "bottlenecks" at the automated planning and give out quantitative information as far as these places are dangerous. Figs.: 3. Table.: 6. Refs.: 9 titles.

Keywords: system, K -value differential calculation, neuron network, risks of failures.

Поступила в редакцию 05.05.2010

З.Ю. ГОТРА, д-р техн. наук, проф., зав. каф. ЕП НУ "ЛП" (м. Львів),
Р.Л. ГОЛЯКА, д-р техн. наук, проф. каф. ЕП НУ "ЛП" (м. Львів),
Т.А. МАРУСЕНКОВА, аспірант каф. ЕП НУ "ЛП" (м. Львів)

МЕТОД КАЛІБРУВАННЯ СЕНСОРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РОЗЩЕПЛЕНИХ ХОЛЛІВСЬКИХ СТРУКТУРАХ

Розглянуто проблему калібрування магнітних сенсорів на основі розщеплених холлівських структур. З використанням методу Монте-Карло розроблено метод та програмні коди для оптимізації процедури калібрування магнітного сенсора, що здійснюється за допомогою поворотного механізму. Визначені критерії оцінки очікуваних похибок польової характеристики сенсорів та оптимальної кількості вимірювань. Іл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: калібрування, магнітні сенсори, розщеплені холлівські структури, поворотний механізм.

Постановка проблеми. В значній мірі прецизійність функціонування магнітовимірювальної апаратури визначається методологією калібрування сенсорів. Особливої актуальності набувають питання калібрування 3D сенсорів магнітного поля, які характеризуються значною кількістю параметрів, зокрема, коефіцієнтами поліномів польової характеристики. Тому процес створення магнітовимірювальної апаратури на розщеплених холлівських структурах (РХС) потребує подальшого розвитку методології калібрування.

Пристрої калібрування РХС базуються на механізмах обертання, які забезпечують можливість вимірювання вихідних сигналів при певній послідовності кутів нахилу площини сенсора в однорідному магнітному полі. При обертанні змінюються проекції вектора магнітного поля на осі системи координат, пов'язаної з сенсором, а відтак змінюється і холлівська напруга, що є інформативним сигналом індукції вимірюваного магнітного поля. Очевидно, що орієнтація сенсора у магнітному полі не може бути абсолютно точною і навіть найбільш прецизійні поворотні механізми не забезпечують необхідної для високоточної магнітовимірювальної апаратури точності кутової орієнтації. Додаткові труднощі при оцінці якості виконаної процедури калібрування кутових РХС спричинені складним характером залежності їхньої польової характеристики від кутів обертання. Якщо похибки кутів обертання є випадковими, то точність знаходження коефіцієнтів польової характеристики залежить від кількості проведених вимірювань. Тому для пошуку коефіцієнтів польової характеристики магнітного сенсора необхідно скласти перевизначену систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР). Отже, процедура калібрування не є жорстко встановленою, а має підлягати модифікації в залежності від вимог точності, що висуваються до магнітного сенсора. Тому є необхідність у розробленні методу та відповідного програмного забезпечення для пошуку оптимальної кількості вимірювань, при якій забезпечується бажана точність.

Аналіз літератури. У [1, 2] розглянуто фізичні принципи роботи сенсора Холла та проаналізовано залежність вихідного сигналу традиційного сенсора Холла від компонент вектора магнітної індукції. Польова характеристика традиційних сенсорів Холла може бути адекватно описана поліномом другого степеня (а подекуди – лінійною функцією), що залежить лише від компоненти вектора магнітної індукції, перпендикулярної до площини сенсора. У [3 – 6] представлено кутову РХС, яка характерна тим, що її чутлива область зосереджена у кутовій ділянці підкладки, обґрунтовано актуальність РХС, а також детально пояснено, що польова характеристика РХС має враховувати вплив всіх компонент вектора магнітної індукції на вихідний сигнал, при цьому вихідний сигнал залежить як від самих компонент вектора магнітної індукції, так і від їхніх квадратів. У [7, 8] подано спосіб калібрування магнітних сенсорів, що, правда, з простішою польовою характеристикою, ніж в аналізованих у даній роботі РХС. У публікаціях [7, 8] представлено математичний апарат, частково врахований при написанні даної роботи.

Мета статті – розробка методу та програмного забезпечення для оптимізації процедури калібрування магнітних сенсорів на основі РХС.

Математична модель процесу калібрування. Польова характеристика кутової РХС з урахуванням того факту, що площа чутливого елемента може виявитися розсміщеною з площиною підкладки, шукається у вигляді:

$$c_{11}Bx + c_{12}By + c_{13}Bz + c_{21}Bx^2 + c_{22}By^2 + c_{23}Bz^2 + c_{31}BxBu + c_{32}BxBz + c_{33}ByBz = S - c_0, \quad (1)$$

де Bx , By , Bz – проекції вектора магнітної індукції на осі координат, які пов'язані з кутовою РХС; S – вихідний сигнал, c_0 – коефіцієнт, що вказує на напругу нееквіпотенційності. Оскільки коефіцієнт c_0 не залежить від магнітного поля, його доцільно визначити окремо у магнітному екрані при $B = 0$. Коефіцієнти

$$c_{ij}, \quad i = \overline{1, 3}, \quad j = \overline{1, 3} \quad (2)$$

є невідомими; калібрування кутової РХС зводиться до їх відшукування. Якщо калібрування здійснюється в однорідному магнітному полі з модулем вектора магнітної індукції B , то проекції вектора магнітної індукції Bx , By , Bz визначаються з таких залежностей:

$$\begin{pmatrix} Bx \\ By \\ Bz \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} \sin A_z \sin A_x - \cos A_z \sin A_y \cos A_x \\ \cos A_z \sin A_x + \sin A_z \sin A_y \cos A_x \\ \cos A_y \cos A_x \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де A_x , A_y , A_z – кути обертання навколо осей x , y , z відповідно.

Для знаходження коефіцієнтів (2) необхідно скласти СЛАР з рівнянь вигляду (1), що з міркувань мінімізації похибок повинна бути перевизначеною.

Оцінка похибок обчислення коефіцієнтів польової характеристики.

Для оцінки точності обчислення коефіцієнтів польової характеристики доцільно користуватися відношенням середньої похибки коефіцієнта до його абсолютного значення. Оперування саме середньою похибкою замість модуля максимального ("найгіршого") відхилення обчислених значень коефіцієнтів від їхніх номінальних значень виправдовується принаймні двома факторами. По-перше, враховуючи досить складну залежність польової характеристики (1) каліброваного сенсора від кутів обертання, важко визначити, при яких саме похибках кутів обертання похибки обчислення коефіцієнтів є "найгіршими". По-друге, "найгірші" похибки коефіцієнтів (2) є явно завищеними, а тому вони не можуть адекватно характеризувати точність обчислення коефіцієнтів.

Найбільш вірогідну оцінку похибок коефіцієнтів (2) можна отримати за допомогою методу Монте-Карло, що завдяки простоті його програмної реалізації та рівню розвитку сучасної обчислювальної техніки дозволяє за короткий час без жодних фізичних вимірювань провести потрібну кількість "віртуальних експериментів" та змодельовати очікувані похибки.

Фактичний кут обертання сенсора є сумою зумисне встановленого кута та деякої невідомої похибки ρ . Нехай встановлення довільного кута обертання поворотного механізму характеризується похибкою $\pm m^\circ$, розподіленою за гаусівським законом. Тоді, оскільки за правилом "трьох сигм" в окремо взятому досліді значення похибки кута обертання з ймовірністю 0.997 не перевищуватиме 3σ , то параметри нормального розподілу похибки ρ є такими: $a = M\rho = 0$; $\sigma = m/3$.

Нехай для знаходження коефіцієнтів (2) використовується СЛАР з рівнянь вигляду (1), для якої вже вибрано деяку початкову кількість рівнянь n та набори кутів обертання, застосовуваних у цих рівняннях. Тоді спосіб застосування методу Монте-Карло для оцінки похибок обчислення коефіцієнтів (2) є наступним. Слід за допомогою генератора псевдовипадкових чисел згенерувати стільки похибок із зазначеними вище властивостями, скільки кутів обертання використовується для знаходження коефіцієнтів (2). Змодельовані у такий спосіб значення похибок необхідно додати до застосовуваних у СЛАР вигляду (1) кутів обертання без похибок. Далі, в результаті розв'язання СЛАР вигляду (1), сформованої з урахуванням згенерованих похибок, обчислюємо шукані коефіцієнти. Процедура генерування похибок та розв'язання СЛАР вигляду (1) повторюємо деяку кількість разів N , внаслідок чого отримуємо масив з N розв'язків. Якщо число N є розумно великим, щоб можна було говорити про статистичну обробку одержаних N різних значень кожного з коефіцієнтів (2), то дисперсія кожного з дев'яти коефіцієнтів дасть підставу для оцінки його середньої похибки. Дисперсія випадкової величини ξ виражається формулою:

$$D\xi = M[(\xi - M\xi)^2] \approx \frac{1}{N-1} \left[\sum_{j=1}^N (\xi_j)^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^N \xi_j \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Дисперсія є математичним сподіванням квадрата відхилення випадкової величини від її середнього значення. Корені квадратні з порахованих дисперсій власне і є середніми похибками коефіцієнтів (2).

Обчислені похибки коефіцієнтів (2) при вибраних кількості n рівнянь у СЛАР (1) та наборах кутів обертання слід порівняти із відповідними заданими максимально допустимими похибками. Якщо хоча б одна з обчислених похибок перевищує відповідну максимально допустиму похибку, потрібно збільшити початкову кількість рівнянь на заданий крок і повторювати описану вище процедуру доти, поки всі похибки обчислення коефіцієнтів (2) не перестануть перевищувати відповідні їм максимально допустимі похибки.

Математично доведено, що відносні похибки коефіцієнтів (2) не залежать від самих значень цих коефіцієнтів. Це дозволяє розробити програмний код, що обчислює відносні похибки для деяких ненульових еталонних коефіцієнтів, і вважати знайдені відносні похибки чинними для будь-якої кутової РХС.

В ході багатократного виконання розроблених програмних кодів було встановлено, що зі зростанням числа проведених вимірювань залежність точності розв'язку від вибраних кутів обертання зменшується. Виявлено, що кути можна навіть генерувати випадковим чином, але так, щоб вони підлягали рівномірному розподілу, оскільки інакше підвищується ймовірність генерації однакових наборів кутів, а отже, і однакових рівнянь у СЛАР, що не несуть ніякої додаткової інформації. При генерації кутів обертання слід враховувати обмеження, продиктовані недоліками поворотного пристрою.

Результати виконання програмних кодів. На основі викладеного підходу реалізовано програмні коди для виконання у пакеті MATLAB.

У всіх програмних кодах взято кількість "віртуальних експериментів" $N = 2000$. Вибране число N є достатнім, щоб вважати статистичну обробку достовірною, оскільки, як це впливає з ряду проведених трансляцій розробленого програмного коду, вже починаючи від $N = 1500$ подальше зростання числа N не впливає на результат.

Програмний код, розроблений для оптимізації процедури калібрування, виконує наступні дії:

- Приймає від користувача такі параметри: максимальну допустиму похибку для кожного з шуканих коефіцієнтів; початкову прогнозовану кількість вимірювань; максимальну абсолютну похибку встановлення кута обертання, мінімально можливий кут обертання.

- Генерує випадковим чином матрицю кутів обертання, кратних мінімально можливому куту обертання.

- В ітераційному процесі оцінює відносні похибки коефіцієнтів і порівнює їх з максимально допустимими похибками. Процес повторюється,

поки кожна з відносних похибок коефіцієнтів польової характеристики РХС не перестане перевищувати відповідну максимально допустиму похибку. На кожній ітерації число рівнянь у СЛАР (1) збільшується з заданим кроком.

– Після знаходження оптимальної кількості рівнянь СЛАР (1) за допомогою генератора псевдовипадкових чисел генерується певна кількість разів нова матриця кутів обертання і для неї обчислюються відносні похибки коефіцієнтів (2). Серед всіх таких згенерованих матриць обирається та, для якої обчислені похибки виявилися найменшими.

Як результат роботи програми на екран виводиться інструкція користувачеві, що описує всі кроки процедури калібрування з використанням обчисленої оптимальної кількості вимірювань та наборів кутів обертання.

На рис. 1 показано графік залежності відносних похибок обчислення коефіцієнтів (2) від кількості рівнянь у СЛАР (1), тобто, від кількості вимірювань. Для даного тестового прикладу було взято коефіцієнти: $c_{11} = 0.5$; $c_{12} = 1.1$; $c_{13} = 2.2$; $c_{21} = -1$; $c_{22} = -2$; $c_{23} = 2.78$; $c_{31} = 0$; $c_{32} = 0$; $c_{33} = 0$ (для нульових коефіцієнтів відносні похибки не обчислювалися).

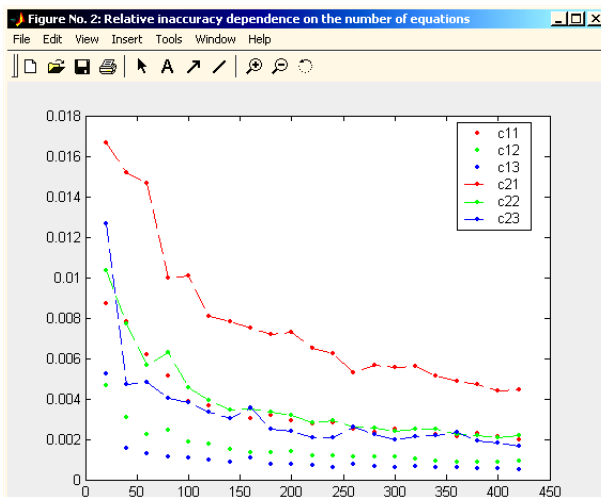


Рис. Залежність відносних похибок коефіцієнтів польової характеристики від кількості вимірювань

З графіка видно, що залежність точності обчислення коефіцієнтів від кількості вимірювань має виражений нелінійний характер. Враховуючи незалежність відносних похибок обчислення коефіцієнтів від самих значень цих коефіцієнтів, можна стверджувати, що показані залежності універсальні і застосовні при калібруванні будь-якої кутової РХС.

Висновки. Розглянуто спосіб оцінки похибок коефіцієнтів польової характеристики кутової РХС. Запропоновано алгоритм на основі методу Монте-Карло для оптимізації процедури калібрування. Показано приклад результату роботи розробленого за цим алгоритмом програмного коду, виконання якого може передувати фізичному процесу калібрування довільної кутової РХС. Планується розширений аналіз залежності допустимих похибок коефіцієнтів польової характеристики РХС від допустимих похибок вимірювання компонентів вектора індукції магнітного поля.

Список літератури. 1. *Popovic R.S. Hall Effect Devices / R.S. Popovic // Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York. – 2002. – 305 p.* 2. Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля / За ред. *З.Ю. Готри* – Львів: Вид. НУ "Львівська політехніка". – 2001. – 411 с. 3. *Большакова І.А.* Сенсорні пристрої магнітного поля на сенсорах Холла з розщепленою структурою / *І.А. Большакова, Р.Л. Голяка, В.Е. Срашок, Т.А. Марусенкова // Електроніка. Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2009. – № 646. – С. 38-46.* 4. Пат. № 72832 Україна, МКИ 7 G 01 R 33/06, Н 01 L 43/06. Вимірювальний перетворювач магнітного поля / *І.А. Большакова, Р.Л. Голяка* (Україна) – № 2003065533. Заявлено 13.06.03. Опубл. 15.04.05. Бюл. № 4. 5. Пат. № 73816 Україна, МКИ 7 G 01 R 33/06. Вимірювальний перетворювач магнітного поля / *І.А. Большакова, Р.Л. Голяка.* (Україна) – № 2003065532. Заявлено 13.06.03. Опубл. 15.09.05. Бюл. № 9. 6. *Большакова І.А.* Нові конструкції напівпровідникових тонкоплівкових 3-D сенсорів магнітного поля / *І.А. Большакова, Р.Л. Голяка, О.Ю. Макідо, Т.А. Марусенкова // Електроніка і зв'язь. – 2009. – № 2-3. – С. 6-10.* 7. *Burger F. New fully integrated 3-D silicon Hall sensor for precise angular-position measurements / F. Burger, P.-A. Besse, R.S. Popovic // Sensors and Actuators. – 1998. – P. 72-76.* 8. *Auster H.U. Calibration of flux-gate magnetometers using relative motion / H.U. Auster, K.H. Fornacon, E. Georgescu, K.H. Glassmeier, U. Motschmann // Institute of physics publishing. Measurement science and technology. – 2002. – № 13. – P. 1124-1131.*

УДК 621.315

Метод калибрования сенсоров магнитного поля на расщепленных холловских структурах / Готра З. Ю., Голяка Р. Л., Марусенкова Т. А. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 74 – 79.

Рассмотрена проблема калибрования магнитных сенсоров на основе расщепленных холловских структур. С использованием метода Монте-Карло разработаны программные коды для оптимизации процедуры калибрования магнитного сенсора с помощью поворотного механизма. Определены критерии оценки ожидаемых погрешностей полевой характеристики сенсоров и оптимальное количества измерений. Ил.: 1. Библиогр.: 8.

Ключевые слова: калибрование, магнитные сенсоры, расщепленные холловские структуры, поворотный механизм.

UDC 621.315

Method of calibration of magnetic sensors based on splitted Hall structures / Hotra Z. Yu., Holiyaka R. L., Marusenkova T. A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 74 – 79.

This work considers calibration of magnetic sensors based on splitted Hall structures and proposes programs developed on Monte-Carlo method basis for optimization of calibration process using rotation mechanism. The result of these programs execution would be expected inaccuracy of the field characteristic coefficients and an optimal number of measurements to be conducted. Figs.: 1. Refs.: 8 titles.

Keywords: calibration, magnetic sensors, splitted Hall structures, rotating mechanism.

Поступила в редакцію 30.05.2010

О.М. ДАЦОК, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ (г. Харьков),
С.А. КРАСНИКОВА, аспирантка каф. БМЭ ХНУРЭ (г. Харьков)

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ГЕМОДИНАМИКИ БЕРЕМЕННЫХ С НАРУШЕНИЯМИ РАБОТЫ СЕРДЦА

Рассмотрены особенности рефлекторных изменений дыхательных движений и сердечных сокращений, сопровождающихся повышением давления в лёгочной артерии малого круга кровообращения. Предложен подход к оцениванию давления малого круга кровообращения с помощью регистрации частоты сердечных сокращений и частоты дыхательных движений, который позволяет повысить возможности экспресс-диагностики сердечно-сосудистой системы беременных. Ил.: 3. Табл.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: гемодинамика беременных, давление, лёгочная артерия, экспресс-диагностика.

Постановка проблемы. Знание влияния заболеваний сердечно-сосудистой системы на течение беременности и развитие плода, а также знание влияния самой беременности на сердечно-сосудистую систему позволяют правильно вести разрешенную беременность, сохранить здоровье женщины и получить здоровое потомство. Своевременная диагностика и профилактика функциональных нарушений в деятельности сердечно-сосудистой системы у беременных в значительной степени зависят от эффективности применяемых методов исследования. Ограниченность традиционных методических возможностей при изучении активности сердечно-сосудистой системы на основе анализа доступных физиологических сигналов делают необходимым поиск более чувствительных и информативных диагностических критериев.

Анализ литературы. Измерение артериального давления (АД) любым неинвазивным методом – аускультативным, осциллометрическим – это золотой стандарт. Однако, следует отметить, что при современном понимании задач системы кровообращения этот показатель недостаточно информативен в исследовании таких процессов, как органный и мозговой кровотоков, функциональная производительность сердца, уровень волеии [1, 2]. Измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС) так же, как и АД, не требует больших затрат и может измеряться как пальпаторно, так и аппаратно по кривой ЭКГ. Этот параметр в сочетании с другими может давать целостную картину состояния гемодинамики и при непрерывном автоматическом измерении может эффективно выявлять аритмии [3]. Одним из самых обязательных и эффективных методов исследования динамики сердца и диагностики режима его функционирования для пациенток с подозрением на сердечно-сосудистое заболевание является метод электрокардиографии, который позволяет произвести анализ последовательности возникновения потенциалов, регистрируемых от волокон различных отделов сердца и дать наиболее точные сведения о пути и скорости распространения волны возбуждения [4]. В

настоящее время широко используемым методом является метод биоимпедансометрии. Этот метод, используя методики либо интегральной реографии по Тищенко, либо тетраполярной реографии по Кубичеку, позволяет получать реографическую кривую торакального кровотока и расчетные данные по ударному объёму (УО), минутному объёму крови (МОК), систолическому индексу (СИ). Современное программное обеспечение позволяет получать данные, которые максимально приближены к данным, полученным путем инвазивных измерений [5, 6]. Однако, несмотря на неопровержимые преимущества вышеперечисленных методов, неизвестным остается довольно важный показатель – давление малого круга кровообращения. Увеличение этого параметра свидетельствует об усиленной работе правого желудочка, которая сопровождается увеличением частоты сердечных сокращений и дыхательных движений, что в результате позволяет оценить состояние беременной женщины как критическое [7]. Для оценки параметров гемодинамики и состояния здоровья беременных женщин целесообразно использование интегральных показателей изменений частоты дыхательных движений, сердечных сокращений, артериального давления, в том числе и значения давления малого круга кровообращения [8].

Цель статьи – оценить возможности инструментальных методов исследования с целью повышения эффективности применения комплексного показателя диагностики основных параметров сердца, необходимого для обоснования новых подходов к диагностике структурно-функциональных изменений сердечно-сосудистой системы беременных женщин, позволяющие качественно определить состояние здоровья и степень риска заболевания.

1. Физиологические изменения сердечно-сосудистой системы беременных. На сегодняшний день, если говорить об индексе здоровья беременных, то в лучшем случае 40% всех беременных женщин вынашивают беременность без осложнений, то есть без токсикозов беременных и без экстрагенитальных заболеваний [7].

Ведение беременности и родов у женщин с заболеваниями сердца – настоящее искусство, требующее совместных и скоординированных усилий акушера-гинеколога и кардиолога, поскольку это состояние предъявляет повышенные требования к сердечно-сосудистой системе будущей мамы. Это вызвано изменениями, которые обусловлены сосуществованием двух организмов – матери и плода. Говоря о сочетании болезней сердца и сосудов с беременностью необходимо отметить, что беременность и обусловленные ею изменения кровообращения, обмена веществ, массы тела, водно-солевого обмена требуют от сердца усиленной работы и нередко отягощают течение сердечно-сосудистого заболевания. Все эти изменения связаны с тем, что у беременной женщины появляется дополнительное кровообращение – маточно-плацентарный кровоток – соответственно изменяются нагрузки на сердце. Увеличенные нагрузки зависят от вида патологии и от того, как сердце справляется с

возложенной на него задачей.

Основой правильного ведения и лечения таких беременных является точная диагностика, учитывающая причину заболевания.

2. Особенности диагностики сердечно-сосудистой системы у беременных женщин. Современная медицина обладает достаточно эффективными методиками, позволяющими вычислить степень риска, связанного с беременностью и родами у женщин с заболеваниями сердца. Проведенные исследования дали основания утверждать, что мониторинг состояния здоровья беременных должен быть максимально полным и включать следующие параметры: артериальное давление, частоту сердечных сокращений, электрокардиограмму, минутный объем крови, общее периферическое сопротивление сосудов. Состояние сосудистой стенки артериальных сосудов отображают пульсовые колебания. Характер пульса зависит от деятельности сердца и состояния артерий. Этот показатель отображает силу сокращения сердца, прилив крови в артериальную систему, сопротивление и эластичность периферических сосудов. Одним из эффективных методов исследования динамики сердца и диагностики режима его функционирования для пациенток с подозрением на сердечно-сосудистое заболевание является метод электрокардиографии. Достоинство ЭКГ заключается в возможности анализа последовательности возникновения потенциалов, регистрируемых от волокон различных отделов сердца, что позволяет получить наиболее точные сведения о пути и скорости распространения волны возбуждения. В настоящее время широко используемым методом является метод биоимпедансометрии. Этот метод, используя методики либо интегральной реографии по Тищенко, либо тетраполярной реографии по Кубичеку, позволяет получать реографическую кривую торакального кровотока и расчетные данные по УО, МОК, СИ. Современное программное обеспечение позволяет получать данные, которые максимально приближены к данным, полученным путем инвазивных измерений [4, 5]. Эти методы безвредны и помогают объективно оценить состояние полостей и клапанов, электрическую активность сердца, осуществить регистрацию колебаний пульсовой волны и оценить кровоток.

Синхронная регистрация стандартных физиологических показателей позволяет максимально точно оценить состояние сердечно-сосудистой системы беременных и определить степень риска заболевания.

3. Повышение информативности методов диагностики гемодинамики беременных по основному критерию. Функциональное значение сосудистой системы малого круга кровообращения (рис. 1) состоит в обеспечении газообменной функции легких, тогда как бронхиальные сосуды удовлетворяют собственные циркуляторно-метаболические потребности легочной ткани.



Рис. 1. Схема малого круга кровообращения

У беременной с нарушениями сердечно-сосудистой системы давление в легочных сосудах соответствует значениям:

- систолическое давление в легочной артерии – 20 мм.рт.ст.;
- диастолическое давление - 9 мм.рт.ст.;
- среднее давление – 13 мм.рт.ст.

На рис. 2 приведено графическое изображение соотношения давлений крови в малом круге кровообращения. Линия ABC соответствует нормальному протеканию процессов в малом круге кровообращения (движение крови от А к В, затем к С). Линия $A_1B_1C_1$ соответствует повышению давления в малом круге кровообращения, что сопровождается усиленной работой правого желудочка, увеличением ЧСС и частоты дыхательных движений (ЧДД).

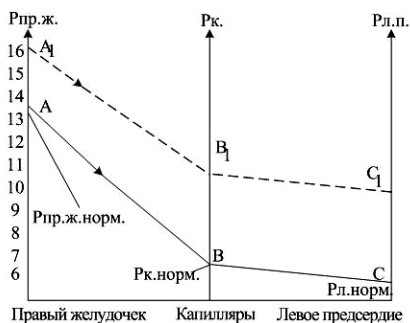


Рис. 2. Соотношение давлений крови в малом круге кровообращения (в мм.рт.ст.)

Левожелудочковая недостаточность приводит к переполнению вен малого круга и повышению в них давления крови. На графике линия ВС перемещается вверх в положение B_1C_1 ; $P_{пр.ж.}$ – давление крови в начале артериального отдела малого круга кровообращения; $P_{л.п.}$ – давление крови у левого предсердия (конечный пункт венозного отдела малого круга кровообращения); $P_{к.}$ – давление крови в капиллярах. На рис. 2 избыточное давление крови в капиллярах малого круга кровообращения выражено

отрезком ВВ₁. Избыточное давление крови в капиллярах малого круга кровообращения в действительности оказывают сильное влияние на дыхание человека – появляется обильная жидкая мокрота, удушье, правый желудочек работает сильнее нормы.

Между кровообращением и дыханием существует тесное функциональное взаимодействие, направленное на удовлетворение потребностей организма в кислороде. Установлено, что под влиянием 5 – 10 максимально глубоких и частых дыхательных движений происходит быстрое снижение альвеолярной углекислоты, а также ее количества в артериальной крови. Затем следуют падение тонуса периферических сосудов и депонирование в них крови, падение артериального и пульсового давлений, рост венозного давления, изменение коронарного кровообращения и кровообращения головного мозга, ЧСС. Рефлекторные изменения частоты дыхательных движений и сердечных сокращений сопровождаются повышением давления в легочной артерии малого круга кровообращения. Величина этих изменений зависит от состояния ССС и ее способности справляться с возникшими неблагоприятными условиями функционирования.

Таблица 1

Контрольные значения вегетативных показателей для беременных

ЧДД	ЧСС	Состояние артериального отдела малого круга кровообращения
16-17	60-80	нормотония
15 и менее	60 и менее	гипотония
18 и более	80 и более	гипертония

Выяснение математических закономерностей взаимоотношений вегетопоказателей позволит численными методами выяснять, какие из систем организма вышли за рамки нормального функционирования, разработать методы влияния на эти системы и режимы мониторинга. Проведён статистический анализ с вычислением статистических характеристик рядов значений и взаимодействия математических значений этих физиологических показателей (табл. 2).

Таблица 2

Статистические характеристики рядов значений ЧСС и ЧДД

Статистический показатель	ЧСС	ЧДД
Количество наблюдений	120	120
Мода	84	35
Максимум	105	75
Минимум	48	17
Дисперсия	93,3	96,2
Асимметрия распределения	– 0,5	1,5
Экссесс	0,8	3,5

Табл. 2 показывает, что организм человека склонен к спонтанной брадикардии и тахипноэ. Об этом говорит отрицательная асимметрия распределения у пульса и положительная у частоты дыхательных движений.

Для выяснения математических характеристик физиологического взаимодействия пульса и частоты дыхательных движений была построена зависимость значений пульса относительно частоты дыхательных движений (рис. 3).

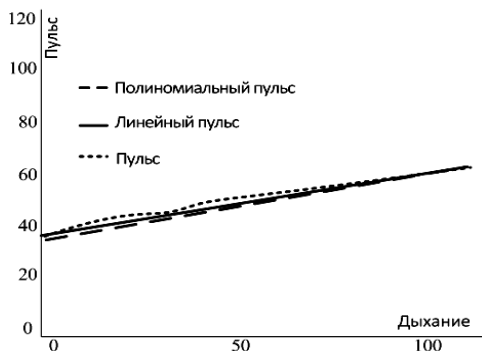


Рис. 3. Зависимости значений пульса относительно частоты дыхания

При этом на область диаграммы была наложена линия квадратного тренда и прямая сглаживающая линия, на которые выводились уравнение аппроксимации и коэффициент аппроксимации.

В результате проведенных вычислений определили, что пульс и частота дыхательных движений прямо пропорциональны друг другу.

Выводы. На основе экспериментальных исследований показана возможность оценки показателя давления малого круга кровообращения, который является одним из самых важных критериев оценивания состояния сердечно-сосудистой системы беременных, с помощью синхронной регистрации ЧСС, ЧДД и стандартных физиологических показателей.

По результатам исследований можно сделать вывод, что при ЧСС = 60 – 80 уд./мин. ЧДД составляет 16 – 17 движ./мин., что соответствует нормотоническому состоянию; давление малого круга кровообращения понижено, что соответствует гипотонии, при ЧСС ≤ 60 уд./мин., ЧДД ≤ 15 движ./мин.; прогностически неблагоприятная величина наблюдается при ЧСС ≥ 80 уд./мин., ЧДД ≥ 18 движ./мин., что соответствует гипертонии в артериальном отделе малого круга кровообращения.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что на основе теоретических исследований с целью достоверного определения

гемодинамических показателей предложена методика оценки давления в легочных артериях малого круга кровообращения с помощью регистрации ЧСС и ЧДД, которая позволяет не только воссоздавать известные физиологические закономерности, но может быть использована при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний у беременных.

Список литературы: 1. *Виноградова Т.С.* Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы: [Справочник] / *Т.С. Виноградова*. – М.: Медицина, 1986. – 416 с. 2 *Уайт Поль Д.* Ключи к диагностике и лечению болезней сердца / *Поль Д. Уайт*. – М.: Медицинская литература, 2002. – 190 с. 3. *Дощицин В.Л.* Практическая электрокардиография / *В.Л. Дощицин*. – М.: Медицина, 1987. – 336 с. 4. Клиническая кардиология: В 3 т. / *Под. ред. Амосова Е.Н.* – К.: Здоровье, 2002. – Т. 1–2. 5. *Яковлев В.Б.* Диагностика и лечение нарушений ритма сердца: Пособие для врачей / *В.Б. Яковлев*. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2003. – С. 168–200. 6. *Силиберто К.Ф.* Физиологические изменения, связанные с беременностью / *К.Ф. Силиберто, Г.Ф. Маркс*. – М.: Мир, 1996. – С. 284–315. 7. *Макаров О.В.* Особенности центральной гемодинамики у беременных с артериальной гипертензией / *О.В. Макаров, Н.Н. Николаев, Е.В. Волкова* // Акушерство и гинекология. – 2003. – № 4. – С. 18–22. 8. *Красникова С.А.* Особенности экспресс-диагностики состояния сердечно-сосудистой системы беременных / *С.А. Красникова* // Тезисы XIII Международного молодёжного форума "Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке". – Харьков: ХНУРЭ, 2009. – С. 259.

Статья представлена доктором физ.-мат. наук, проф. Бых А.И.

УДК 621.391.833

Сучасний підхід до діагностики гемодинаміки вагітних з порушеннями роботи серця / Дато́к О.М., Краснікова С.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 80 – 86.

Розглянуті особливості рефлекторних змін дихальних рухів і серцевих скорочень, що супроводжуються підвищенням тиску в легеневій артерії малого кола кровообігу. Запропонований підхід до оцінювання тиску малого кола кровообігу за допомогою реєстрації частоти серцевих скорочень і частоти дихальних рухів, який дозволяє підвищити функціональні можливості медичних приладів і систем при експрес-діагностики стану серцево-судинної системи вагітних. Іл.: 3. Табл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: гемодинаміки вагітних, тиск, легенева артерія, експрес-діагностика.

UDC 621.391.833

Modern approach to diagnosis hemodynamic pregnant violations of the heart / Datsok O.M., Krasnikova S.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 80 – 86.

Considered features of reflex changes of respiratory motions and heart-throbs which are accompanied the increase of pressure in the pulmonary artery of small circle of circulation of blood. Offered approach near the evaluation of pressure of small circle of circulation of blood by registration of frequency of heart-throbs and frequency of respiratory motions, which allows to promote functional possibilities of biomedical devices and systems at rapid diagnosis of the state of the cardiovascular system of pregnancy. Figs.: 3. Tabl.: 2. Refs.: 8 titles.

Key words: hemodynamics of pregnant, pressure, pulmonary artery, rapid diagnosis.

Поступила в редакцию 05.05.2010

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Н.И. ЗАПОЛОВСКИЙ, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Н.В. МЕЗЕНЦЕВ, ст. преподаватель НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА МЕТОДОМ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ПО КРИТЕРИУ ОБОБЩЕННОЙ РАБОТЫ

Рассматривается синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с тяговым асинхронным приводом с помощью метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы (АКОР). С целью упрощения синтеза выполнена декомпозиция исходной модели объекта управления на две подсистемы, существенно отличающиеся постоянными времени. Для поиска множества неизвестных коэффициентов, входящих в искомые управления, применены генетические алгоритмы. Библиогр.: 8

Ключевые слова: оптимальные регуляторы, тяговый асинхронный привод, аналитическое конструирование регуляторов по критерию обобщенной работы, декомпозиция модели, генетические алгоритмы.

Постановка проблемы и анализ литературы. Тяговый электропривод с трехфазными асинхронными двигателями превосходит по экономическим показателям управляемые приводы с двигателями на постоянном токе. Это связано, прежде всего, с эксплуатационными свойствами асинхронного двигателя [1, 2]. Поэтому его применение является актуальным и в последние десятилетия он активно внедряется на подвижном составе железных дорог, в частности, на дизель-поездах. Если рассматривать математическую модель движения дизель-поезда, то она с учетом некоторых допущений может быть представлена нелинейной системой дифференциальных уравнений высокого порядка. Существует множество методов синтеза регуляторов для управления такими нелинейными объектами [3, 4]. Одним из таких методов является метод АКОР. Основное достоинство метода – получение структуры регулятора с учетом минимизации функционала, который включает в себя несколько составляющих, позволяющих учитывать различные особенности протекания процессов в различных режимах функционирования сложных технических объектов [5]. Из формулировки основной теоремы АКОР вытекает, что в случае, если функции, входящие в состав функционала, могут быть представлены степенными рядами, то и поиск функции Ляпунова, которая определяет в конечном итоге вид управляющих воздействий, также необходимо искать в виде степенного ряда [5, 6]. При этом возникает дополнительная задача поиска коэффициентов при каждом члене этого ряда. Для сложных объектов число этих коэффициентов значительно – от десятков до сотен. Поэтому, с целью уменьшения множества коэффициентов, целесообразно выполнять либо декомпозицию исходной нелинейной математической модели, либо преобразовывать ее к линейной модели [7, 8].

Если анализировать исходную математическую модель объекта, то в ней можно выделить две подсистемы, которые имеют существенные отличия по постоянным времени, а именно подсистему, описывающую движение дизель-поезда, и подсистему, моделирующую процессы в асинхронном двигателе. Поэтому целесообразно выполнить разбиение исходной модели на две подсистемы и для каждой из подсистем выполнить синтез оптимальных регуляторов.

Целью статьи является синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с тяговым асинхронным приводом с помощью метода АКОР, с применением декомпозиции исходной математической модели объекта управления и использованием генетических алгоритмов для поиска множества коэффициентов, входящих в искомые управления.

Основной раздел. Движение дизель-поезда по перегону в случае, если эквивалентный асинхронный электродвигатель представлен в системе ортогональных осей X , Y , которые вращаются синхронно со скоростью результирующего вектора напряжения статора, может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= V; \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{kp}{J}(4M - M_c); \\ V &= k\Omega; \\ \frac{d\Psi_{X_1}}{dt} &= U_{X_1} - \alpha'_s \Psi_{X_1} + \alpha'_s k_r \Psi_{X_2} + \Omega_0 \Psi_{Y_1}; \\ \frac{d\Psi_{Y_1}}{dt} &= U_{Y_1} - \alpha'_s \Psi_{Y_1} + \alpha'_s k_r \Psi_{Y_2} + \Omega_0 \Psi_{X_1}; \\ \frac{d\Psi_{X_2}}{dt} &= -\alpha'_r \Psi_{X_1} + \alpha'_r k_s \Psi_{X_1} + (\Omega_0 - \Omega) \Psi_{Y_2}; \\ \frac{d\Psi_{Y_2}}{dt} &= -\alpha'_r \Psi_{Y_2} + \alpha'_r k_s \Psi_{Y_1} - (\Omega_0 - \Omega) \Psi_{X_2}; \\ M &= \frac{3}{2} p \frac{k_r}{\sigma L_s} (\Psi_{X_2} \Psi_{Y_1} - \Psi_{X_1} \Psi_{Y_2}),\end{aligned}\tag{1}$$

где S – расстояние, отсчитываемое от начала перегона; t – время; $V = k\Omega$ – скорость движения дизель-поезда; k , p , $\alpha'_s = 1/(\sigma T_s)$, $\sigma = 1 - k_r k_s$, $k_r = L_m/L_r$, L_m , L_r , $k_s = L_m/L_s$, L_s , $T_s = L_s/r_s$, r_s , $\alpha'_r = 1/(\sigma T_r)$, $T_r = L_r/r_r$, r_r – постоянные коэффициенты для данного типа ТАД; Ω – угловая скорость

вращения эквивалентного асинхронного двигателя; J – момент инерции состава, приведенный к валу двигателя; M – электромагнитный момент одного тягового асинхронного двигателя (ТАД); M_c – момент сопротивления нагрузки; $\Psi_{X_1}, \Psi_{Y_1}, \Psi_{X_2}, \Psi_{Y_2}, U_{X1}, U_{Y1}$ – соответственно проекции на оси X_1 и Y_1, X_2 и Y_2 потокосцеплений статора и ротора и напряжения питания.

Момент сопротивления нагрузки M_c в зависимости от частоты Ω может быть представлен нелинейной зависимостью вида:

$$M_c(\Omega) = b_0 + b_1\Omega + b_2\Omega^2, \quad (2)$$

где b_0, b_1, b_2 – постоянные коэффициенты.

Для случая синусоидальных напряжений на статоре двигателя U_{X1} и U_{Y1} определяются следующими соотношениями:

$$U_{X1} = U_M \cos [(\Omega_0 - \Omega_K)t + \varphi_K];$$

$$U_{Y1} = U_M \sin [(\Omega_0 - \Omega_K)t + \varphi_K],$$

где U_M – амплитуда первой гармоники фазного напряжения на статоре двигателя; Ω_K – угловая скорость вращения системы координат; φ_K – произвольная начальная фаза напряжения фазы A статора. В случае синхронной системы координат $\Omega_0 = \Omega_K$ при условии, что начальная фаза напряжения $\varphi_K = 0$, функции воздействия (управление) – это постоянное напряжение, равное U_M , по оси X и нулю по оси Y .

Если анализировать исходную модель объекта управления (1), то в ней можно выделить две подсистемы, которые имеют существенные отличия по постоянным времени, а именно подсистему, описывающую движение дизель-поезда (первые три выражения), и подсистему, моделирующую процессы в асинхронном двигателе (остальные выражения).

С учетом этого задачу оптимального управления можно сформулировать следующим образом: для первой подсистемы необходимо найти тяговый момент M , который обеспечивал бы перевод объекта управления из исходной точки в конечную за заданный интервал времени, а для второй подсистемы – найти такие управляющие воздействия на тяговый асинхронный электродвигатель, которые бы реализовывали момент M для первой подсистемы.

Рассмотрим синтез оптимальных регуляторов для рассматриваемого объекта (1) при его трогании и разгоне до 65 км/ч, разделив процесс синтеза регуляторов для двух подсистем.

Математическая модель первой подсистемы содержит два дифференциальных уравнения:

$$\frac{dS}{dt} = V; \quad \frac{dV}{dt} = \frac{kp}{J} (4M - b_0 - b_1V - b_2V^2). \quad (3)$$

Систему (3) удобнее записать в виде:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} + a_{12}x_2 &= 0; \\ \frac{dx_2}{dt} + a_{222}x_2^2 + a_{22}x_2 + a_{20} &= k_u U,\end{aligned}\tag{4}$$

где $x_1 = S$; $a_{12} = -1$; $x_2 = V$; $a_{222} = kpb_2/J$; $a_{22} = kpb_1/J$; $a_{20} = kpb_0/J$; $k_u = 4kp/J$.

Наиболее простой структурная схема регулятора получается в случае, когда функции f_i в левых частях уравнений системы (4) могут быть представлены в кусочно-линейной форме [5]. Поэтому аппроксимируем функцию $f_2 = a_{222}x_2^2 + a_{22}x_2 + a_{20}$ двумя кусочно-линейными участками:

$$f_2 = \begin{cases} d_1x_2, & \text{если } 0 \leq x_2 < 35, \text{ км/ч;} \\ d_2x_2 - d_0, & \text{если } 35 \leq x_2 < 65, \text{ км/ч,} \end{cases}\tag{5}$$

где d_1, d_2, d_0 – постоянные коэффициенты.

Тогда исходная нелинейная система дифференциальных уравнений (4) аппроксимируется двумя системами линейных дифференциальных уравнений.

Рассмотрим в общем виде задачу аналитического конструирования регуляторов для второй из полученных подсистем:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} + a_{12}x_2 &= 0; \\ \frac{dx_2}{dt} + a_{22}x_2 + a_{20} &= k_u U,\end{aligned}\tag{6}$$

при условии, что оптимизируемый функционал и граничные условия заданы положительно определенными квадратичными формами [2, 5]:

$$Q = C_1 + \frac{1}{2}\beta_{11}x_1^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \frac{1}{2}\beta_{22}x_2^2;\tag{7}$$

$$V_3 \Big|_{t=t_3} = \rho_{01}x_1 + \rho_{02}x_2 + \frac{1}{2}\rho_{11}x_1^2 + \rho_{12}x_1x_2 + \frac{1}{2}\rho_{22}x_2^2,\tag{8}$$

где C_1 – неизвестный коэффициент (постоянный или функция времени); β_{ik} – заданные коэффициенты (в общем случае функции времени) $i, k = 1, 2, i \leq k$; t_3 – заданное время управления; ρ_{ik} – заданные коэффициенты (постоянные числа) $i = 0, 1, 2; k = 1, 2; i \leq k$.

Используя выражения (6) – (8) получим дифференциальное уравнение для определения функции V и структуры регулятора [5]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} - \frac{\partial V}{\partial x_1} a_{12} x_2 - \frac{\partial V}{\partial x_2} (a_{20} + a_{22} x_2) = -Q, \quad (9)$$

$$U = -R^2 \left(\frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot 0 + \frac{\partial V}{\partial x_2} k_u \right).$$

Решение уравнения (9) удобно искать в виде

$$V = A_{01} x_1 + A_{02} x_2 + \frac{1}{2} A_{11} x_1^2 + A_{12} x_1 x_2 + \frac{1}{2} A_{22} x_2^2, \quad (10)$$

где $A_{01}, A_{02}, A_{11}, A_{12}, A_{22}$ – функции времени.

Подставляя выражение (10) в уравнение (9) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях, после элементарных преобразований получим

$$\begin{aligned} \frac{dA_{01}}{dt} - a_{20} A_{12} &= 0; \\ \frac{dA_{02}}{dt} - a_{12} A_{01} - a_{22} A_{02} - a_{20} A_{22} &= 0; \\ \frac{dA_{11}}{dt} &= -\beta_{11}; \\ \frac{dA_{12}}{dt} - a_{12} A_{11} - a_{22} A_{12} &= -\beta_{12}; \\ \frac{dA_{22}}{dt} - 2a_{12} A_{12} - 2a_{22} A_{22} &= -\beta_{22}; \\ A_{02} a_{20} &= C_1. \end{aligned} \quad (11)$$

Последнее уравнение в системе (11) служит только для определения C_1 , поэтому при решении системы линейных дифференциальных уравнений его можно не учитывать.

Коэффициенты $A_{01}, A_{02}, A_{11}, A_{12}, A_{22}$ оптимальных управлений можно найти аналитически. В результате получим:

$$\begin{aligned} A_{11} &= -\beta_{11} t + D_{11}; \\ A_{12} &= (\beta_{12} - a_{12} D_{11})/a_{22} + a_{12} \beta_{11}/a_{22} (t + 1/a_{22}) + D_{12} e^{a_{22} t}; \\ A_{22} &= \frac{\beta_{22}}{2a_{22}} - \frac{a_{12}(\beta_{12} - a_{12} D_{11})}{a_{22}^2} - \frac{3a_{12}^2 \beta_{11}}{2a_{22}^3} - \frac{2a_{12} D_{12} e^{a_{22} t}}{a_{22}} - \frac{a_{12} \beta_{11}}{a_{22}^2} t + D_{22} e^{2a_{22} t}; \\ A_{01} &= A_1(a_{12}, a_{20}, a_{22}, \beta_{11}, \beta_{12}, D_{11}, D_{12}, D_{01}); \\ A_{02} &= A_2(a_{12}, a_{20}, a_{22}, \beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{22}, D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{01}, D_{02}), \end{aligned}$$

где $D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{01}, D_{02}$ – постоянные интегрирования, которые находятся из граничного условия (8).

Таким образом, оптимальное управление для подсистемы (3) определяется выражением:

$$U = \begin{cases} -R^2 \left(k_u \frac{\partial V}{\partial x_2} \right) = -R^2 k_u (A_{02}^* + A_{12}^* x_1 + A_{22}^* x_2), & \text{если } 0 \leq x_2 < 35; \\ -R^2 \left(k_u \frac{\partial V}{\partial x_2} \right) = -R^2 k_u (A_{02} + A_{12} x_1 + A_{22} x_2), & \text{если } 35 \leq x_2 \leq 65, \end{cases} \quad (12)$$

где $A_{02}^*, A_{12}^*, A_{22}^*$ – находятся по тем же выражениям, что и A_{02}, A_{12}, A_{22} , но при условии, что a_{22} и a_{20} имеют другие значения.

Метод АКОР не дает конструктивных возможностей однозначно определять коэффициенты R, β_{ij}, ρ_{ij} . Учитывая большие временные затраты, на поиск коэффициентов, предлагается осуществлять его с помощью эволюционного метода поиска – генетических алгоритмов. В качестве генов хромосомы выступали искомые коэффициенты, каждый из которых кодировался 16 битами, как вещественное число из интервала $[-800, +800]$. Исходная популяция состояла из 150 хромосом и генерировалась случайным образом. Критерием качества (приспособленности хромосомы) при поиске выступали расход энергии, особенности переходных процессов по заданной фазовой координате (скорости движения) и точность приведения объекта за заданный интервал времени в конечную точку.

В результате была получена программа, позволяющая для рассматриваемого объекта управления определять коэффициенты R, β_{ij}, ρ_{ij} за несколько десятков минут на компьютере с тактовой частотой процессора 3 ГГц.

Вторую подсистему уравнений объекта управления (1) удобно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dx_3}{dt} + a_{33}x_3 + a_{35}x_5 &= U_1 + x_4U_2; \\ \frac{dx_4}{dt} + a_{44}x_4 + a_{46}x_6 &= x_3U_2; \\ \frac{dx_5}{dt} + a_{55}x_5 + a_{53}x_3 + \Omega(t)x_6 &= x_6U_2; \\ \frac{dx_6}{dt} + a_{66}x_6 + a_{64}x_4 - \Omega(t)x_5 &= -x_5U_2; \\ M &= A_M(x_4x_5 - x_3x_6), \end{aligned} \quad (13)$$

где $x_3 = \Psi_{x_1}$; $a_{33} = a_{44} = a_s'$; $a_{35} = a_{46} = -a_s'k_r$; $x_5 = \Psi_{x_2}$; U_1, U_2 – управления соответственно по амплитуде и частоте напряжения питания;

$x_4 = \Psi_{\gamma_1}$; $x_6 = \Psi_{\gamma_2}$; $a_{55} = a_{66} = a_r$; $a_{53} = a_{64} = -a_r k_s$; $\Omega(t)$ – угловая частота вращения ротора, получаемая из первой подсистемы; $A_M = 3pk_r/(2\sigma L_s)$.

Для данной подсистемы аналогично получим следующие управляющие воздействия:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= -K_U^2 \left(\frac{\partial V}{\partial x_3} \right) = -K_U^2 (A_1 x_6 + A_2 x_4 x_5 x_6 + 2A_3 x_3 x_6^2); \\
 U_2 &= -K_f^2 \left(\frac{\partial V}{\partial x_3} x_4 + \frac{\partial V}{\partial x_4} x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_5} x_6 - \frac{\partial V}{\partial x_6} x_5 \right) = -K_f^2 (A_1 x_4 x_6 + A_2 x_4^2 x_5 x_6 + \\
 &\quad + 2A_3 x_3 x_4 x_6^2 + A_4 x_3 x_5 + 2A_5 x_3 x_4 x_5^2 + A_2 x_3^2 x_5 x_6 + A_4 x_4 x_6 + \\
 &\quad + 2A_5 x_4^2 x_5 x_6 + A_2 x_3 x_4 x_6^2 - A_1 x_3 x_5 - A_2 x_3 x_4 x_5^2 - 2A_3 x_3^2 x_5 x_6),
 \end{aligned} \tag{14}$$

где K_U, K_f – соответственно коэффициенты усиления по каналам напряжения и частоты; $A_1, A_2, A_3, \dots$ – функции времени, которые определяются аналогично коэффициентам из выражения (10).

Из анализа выражений (14) следует, что при условии нахождения системы в начале координат (все фазовые координаты объекта равны нулю), выйти из этого состояния система не сможет. Однако, как известно из практики управления ТАД, частота напряжения питания в тяговом режиме всегда должна быть больше частоты вращения ротора на величину, называемую скольжением. Следовательно в выражение для определения управления U_2 (которое соответствует частоте напряжения питания) должна быть добавлена некоторая константа. Для рассматриваемого объекта известно, что амплитуда и частота питающего напряжения двигателя связаны между собой, например, соотношением $U/f = const$. Поэтому и в выражение для нахождения U_1 также должна быть введена некоторая константа.

Математическое моделирование дизель-поезда с полученной структурой регулятора показало хорошее совпадение переходных процессов в модели и на реальном объекте, управляемом опытным машинистом.

Выводы. Таким образом, для уменьшения множества неизвестных коэффициентов, получаемых при синтезе оптимальных регуляторов для дизель-поезда методом АКОР, было предложено выполнить декомпозицию исходной математической модели на две подсистемы, для каждой из которых в последствии были получены оптимальные управления. Для этих управлений были найдены с помощью генетических алгоритмов приемлемые наборы коэффициентов, обеспечивающие требуемое качество управления.

Список литературы: 1. *Омельяненко В.И.* Тяговые и токовые характеристики электроподвижного состава с асинхронным тяговым двигателем / *В.И. Омельяненко, Н.Н. Калюжный, Т.А. Кулиш, Г.В. Кривякин* // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXVI международной конференции. – Днепропетровск: ДИИТ, 2006. – С. 123. 2. *Носков В.И.* Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / *В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов*. – Х.: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с. 3. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти томах. Т. 4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. *К.А. Пупкова и И.Д. Егунова*. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. 4. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах. Т. 5: Методы современной теории управления / Под ред. *К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с. 5. *Красовский А.А.* Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование / *А.А. Красовский*. – М.: Наука, 1973. – 560 с. 6. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. *Красовского А.А.* – М.: Наука, 1987. – 712 с. 7. *Дмитриенко В.Д.* Синтез оптимальных законов управления тяговым электроприводом методами дифференциальной геометрии и принципа максимума / *В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный* // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 4 (78). – С. 42–51. 8. *Краснощёченко В.И.* Нелинейные системы: геометрический метод анализа и синтеза / *В.И. Краснощёченко, А.П. Грищенко*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2005. – 520 с.

УДК 621.9.01

Синтез оптимальних регуляторів для дизель-поїзду методом аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи / Дмитрієнко В.Д., Заполовський М.Й., Мезентєв М.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 87 – 94.

Розглядається синтез оптимальних регуляторів для дизель-поїзду з тяговим асинхронним приводом за допомогою методу аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи. З метою спрощення синтезу виконана декомпозиція вихідної моделі об'єкта управління на дві підсистеми, що істотно відрізняються постійними часу. Для пошуку множини невідомих коефіцієнтів, що входять до управлінь, які необхідно знайти, застосовані генетичні алгоритми. Бібліогр.: 8

Ключові слова: оптимальні регулятори, тяговий асинхронний привід, аналітичне конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи, декомпозиція моделі, генетичні алгоритми.

UDC 621.9.01

Optimal controller synthesis for diesel train method of analytical construction by the criterion of the generalized work / Dmitrienko V.D., Zapolovskiy N.I., Mezentsev N.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 87 – 94.

We consider the synthesis of optimal controllers for a diesel train with traction induction drive using the method of analytical construction of regulators by the criterion of the generalized work. In order to simplify the synthesis carried out decomposition of the initial model of control object into two subsystems that are substantially different time constants. To search for a set of unknown coefficients in the desired control, applied genetic algorithms. Refs.: 8

Keywords: optimal controllers, asynchronous traction drive, the analytical construction of regulators by the criterion of the generalized work, decomposition of the model, genetic algorithms.

Поступила в редакцію 10.05.2010

О.І. ДОРОШ, магістр НАУ "КМА" (м. Київ),
Г.Л. КУЧМИЙ, канд. техн. наук, доц. НУ "Львівська політехніка"
(м. Львів),
Н.В. ДОРОШ, канд. техн. наук, доц. НУ "Львівська політехніка"
(м. Львів)

ОРГАНІЗАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСУ ДЛЯ СИСТЕМ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

В статті розглянуто методику організації інтерфейсу для систем медичної діагностики, яка передбачає створення багатовіконного середовища для введення вимірюваних параметрів та відображення результатів їх обробки у числовому та графічному вигляді. Приведено приклади практичної реалізації інтерфейсу для системи аналізу енцефалограм та програмного інтерфейсу для моделювання нелінійної карти Ріодераку у системі акупунктурної діагностики. Бібліогр.: 10 назв.

Ключеві слова: інтерфейс, аналіз енцефалограм, моделювання, карта Ріодераку.

Постановка проблеми. При розробці систем медичної діагностики та підтримки прийняття рішень важливою задачею є організація інтерфейсу для введення даних та відображення результатів їх обробки. На даний час розробниками пропонується багато діагностичних медичних систем різного призначення, які відрізняються за своєю структурною організацією, задачами та функціями, комунікативними можливостями [1 – 10]. Одною з основних проблем при роботі з такими системами є те, що практично кожна з них має свою унікальну організацію інтерфейсу. З метою уніфікації доцільно узагальнити організаційну структуру інтерфейсу в системах медичної діагностики. Нами пропонується методика створення інтерфейсу, що передбачає проектування багатомодульної віконної системи, де кожне вікно має своє призначення: вікно вхідних параметрів, вікно вибору відведень та вікової категорії пацієнтів, вікно результатів розрахунків (спектральні коефіцієнти та амплітудно-часові параметри сигналів, значення кореляційних функцій, та ін.), вікно графічної візуалізації. Для керування компонентами інтерфейсу має бути передбачено меню та кнопки керування. Крім того, має бути створена можливість доступу до бази даних пацієнтів та довідкової інформації (наприклад, атласів біомедичних сигналів, розташування біоактивних точок та ін.). Доцільно, щоб структура інтерфейсу була модульного типу, з можливістю модернізації та нарощування додаткових модулів.

Аналіз літератури. Питання розробки та оптимізації користувацького інтерфейсу в інформаційних та діагностичних медичних системах розглядаються в роботах [1, 2, 6 – 10]. В роботі [8] запропоновано схему користувацького інтерфейсу з різними рівнями доступу для кожної групи лікарів – спеціалістів (терапевтів, окулістів та ін.). Однак, у такій системі не передбачено доступ до інформації загального характеру (аналіз ЕКГ, ЕЕГ та

ін.), яка може бути потрібна спеціалістам різного профілю. В роботах [7, 9, 10] відмічено, що на даний час розроблено велика кількість моделей медичних інформаційно-діагностичних систем (МІС) та розглянуто питання необхідності стандартизації та чіткої взаємодії складових МІС, а також поставлена проблема розробки ергономічного інтерфейсу. В роботі [10] приведено приклади діагностичних систем, що розробляються фірмою DX SYSTEM з різною інтерфейсною структурою та функціональними особливостями. На основі проведеного аналізу літератури було запропоновано уніфіковану модульну багатовіконну структурну організацію інтерфейсу для систем медичної діагностики та підтримки прийняття рішень.

Мета статті – розглянути методику розробки уніфікованого інтерфейсу для систем медичної діагностики, яка передбачає створення багатовіконного середовища для введення вимірюваних параметрів та відображення результатів їх обробки на прикладах практичної реалізації програмного інтерфейсу з багатовіконною модульною структурною організацією в системах аналізу електроенцефалографічних сигналів (EEG-analyzer) та акупунктурної діагностики з використанням нелінійної карти Ріодераку.

Організація інтерфейсу діагностичної системи EEG-analyzer. У якості прикладу можна розглянути організацію інтерфейсу діагностичної системи EEG-analyzer, яка реалізована у IDE Delphi для ОС Windows і призначена для проведення спектрального аналізу електроенцефалограм на основі швидкого перетворення Фур'є [3]. Організація інтерфейсу дозволяє вводити у вікні EEG масиви відліків енцефалограм (EEG-сигналів) у 16 стандартних відведеннях та отримувати їх графічні зображення. У вікні Spectrums виводяться значення спектральних коефіцієнтів (СК), отриманих в результаті спектрального аналізу EEG. Формат виведення СК можна задавати у вигляді лінійної або стовпчикової діаграм, а також групувати СК по частотним діапазонам у вигляді електрографічних ритмів. У вікні Spectral Factors можна отримати значення альфа-, бета-, тета- та дельта-ритмів EEG-сигналу у вибраному відведенні. Для вибору EEG-відведення призначено вікно Abductions. Для роботи з базою даних пацієнтів передбачено вікно Pasients, яке викликається з меню File. Виклик вікна спектрального аналізу проводиться за допомогою опції Analyze у вікні Pasients. Опція Show Labels дозволяє виводити значення спектральних коефіцієнтів безпосередньо на їх графічному зображенні. Основними модулями для організації інтерфейсу є: MainFRM, що відповідає за роботу main-форми програми, PasientFRM, що відповідає за роботу вікна редагування бази даних пацієнтів, EEGEditorFRM, що відповідає за роботу вікна запису-читання та редагування електроенцефалограм, EEGAnalysisFRM – реалізує спектральний аналіз EEG.

Програмний інтерфейс для моделювання нелінійної карти Ріодераку у системі акупунктурної діагностики. Багатовіконну модульну методику

було використано при розробці програмного інтерфейсу для моделювання нелінійної карти Ріодераку у системі акупунктурної діагностики [4 – 6]. Із стандартних компонентів середовища Delphi вибирається об'єкт Form (з назвою MainForm) на якому розміщуються всі інші об'єкти (бланк нелінійної карти Ріодераку, області вводу параметрів провідності БАТ, вікові параметри, тощо). На форму наноситься область для перегляду TImage (Graph). В області перегляду розміщується бланк з нелінійною картою Ріодераку. Далі на форму наносяться компоненти області вводу параметрів провідності біоактивних точок (БАТ): TSpinEdit. Кожному з компонентів дається назва відповідної біологічно активної точки: EditH1 – EditH6, EditF1 – EditF6. Компоненти TLabel (Напис) супроводжують назви полів вводу кожної БАТ. Далі на форму наноситься компонент TBitBtn (Кнопка) з назвою StartBtn. При натисканні цієї кнопки на карту Ріодераку будуть виводитися параметри БАТ разом з допустимим коридором їх норми та відхилення. Компонент TRadioGroup – це група перемикачів для вибору вікової категорії (RGAge). Компонент області перегляду TMemo дозволяє виводити результати аналізу. Змінним величинам H1 – H6, F1 – F6 присвоюються типи даних відповідно до значень областей вводу та задаються параметри ліній, які будуть наноситись на карту: інтервали k0 – k24, кольори ліній, товщини, прозорий фон підкладки на яку наносяться лінії. Далі реалізується алгоритм [6], який наносить значення провідності відповідних БАТ (H1 – H6, F1 – F6) в нелінійному масштабі та прямі лінії (S – середня лінія, S + M – верхня границя і S – M – нижня границя допустимого коридору норми), що обмежують допустимий коридор норми, на нелінійну карту Ріодераку

Для моделювання програмного інтерфейсу з нелінійною картою Ріодераку в середовищі Delphi створюємо новий проект Project з назвою TestRio. В якості ескізу проекту обираємо MDIProject (проект з основною і дочірньою формами). Такий проект містить основну форму MainForm і дочірню форму MDIChild, а також модуль проекту AboutBox (відомості про програму). Моделювання програмного інтерфейсу проводиться поетапно.

Дочірній формі MDIChild присвоюємо назву "Карта пацієнта". У форму даного модуля вносимо стандартні компоненти областей вводу TEdit, у які будуть вводиться/виводитись дані пацієнта (ПІБ, дата проведення діагностики, та дата народження). Далі встановлюємо на форму компонент TMemo (область перегляду), в якій виводиться інформація про скарги пацієнта. Також вносимо компоненти TLabel (напис), які дублюють назви областей вводу і області перегляду (Прізвище, Ім'я, По батькові, Дата народження, і т.д.). Вносимо у форму компоненти кнопок TBitBtn (Додати, Видалити, Знайти, Очистити форму). Додаємо до проекту новий модуль проекту Unit3 (Модуль форми) з назвою Atlas1, в якому будемо розміщувати атлас точок Ріодераку. Для цього на форму наносимо компонент TImage (область перегляду графічних зображень) з назвою Image1. Далі наносимо компоненти кнопок TBitBtn (12 штук) з назвами точок Ріодераку та виписуємо для кожної кнопки команду,

при виконанні якої (натискання на кнопку), виводиться відповідне зображення розміщення точки на верхній або нижній кінцівках. Також наносимо компонент області виводу інформації ТМето в яку виводиться інформація про топологію розміщення відповідної БАТ. В області реалізації алгоритму модуля Unit3 – implementation вказуємо видимість даного модуля для основного модуля проекту MainForm за допомогою ключового слова `uses MainForm`.

На основній формі проекту розміщуємо компонент TMainMenu (головне меню) з назвами команд: Картотека, Правка, Вікно, Довідка, Карта Ріо, Атлас точок. До кожної команди головного меню додаємо випадаюче меню з відповідними командами, при активізації яких виконуються певні команди (наприклад підкоманди картотеки можуть створювати новий бланк пацієнта, відкривати картки пацієнтів з бази даних пацієнтів; підкоманда Карта Ріо відкривають вікно з бланком карти Ріодераку; підкоманда Атлас точок відкриває вікно, яке містить назви точок та їх розміщення). В області реалізації алгоритму модуля MainForm – implementation вказуємо видимість усіх модулів проекту TestRio за допомогою ключового слова `uses ChildWin; AboutBox; Unit1; Unit2; Unit3`. Програмна реалізація модулів приведена у [6].

Висновки. Результатом роботи є розробка структури уніфікованого інтерфейсного середовища для систем медичної діагностики та його практична реалізація на прикладах організації багатовіконного інтерфейсу для систем спектрального аналізу електроенцефалографічних сигналів та систем акупунктурної діагностики с нелінійною картою Риодераку. Розроблений програмний інтерфейс для систем медичної діагностики з багатовіконною модульною структурною організацією дозволяє уніфікувати інтерфейс та вдосконалити роботу таких систем, що підвищує ефективність проведення медико-діагностичних досліджень різного типу.

Список літератури: 1. *Зенков Л.Р.* Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / *Л.Р. Зенков* // Руководство для врачей. – М.: МЕДпресс-информ. – 2004. – 368 с. 2. *Абакумов В.Г.* Біомедичні сигнали та їх обробка / *В.Г. Абакумов, В.О. Геранін та ін.* – К.: Нора-принт. – 2003. – 516 с. 3. *Дорош Н.В.,* Моделювання алгоритмів обробки електроенцефалограм для мікроелектронних систем контролю електричної активності мозку / *Н.В. Дорош, Г.Л. Кучмій, К.Р. Калюжна* // Вісник НУ "ЛПІ". "Елементи теорії та прилади твердотілої електроніки". – 2005. – № 542. – С. 80-84. 4. *Дорош Н.В.,* Розробка та моделювання програмного інтерфейсу з нелінійною картою Ріодераку для медичних систем електропунктурної експрес-діагностики / *Н.В. Дорош, Г.Л. Кучмій, Л.М. Смеркло, Ю.В. Кунтий* // Вісник НУ "ЛПІ". "Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика". – 2005. – № 522. – С. 48-53. 5. *Мачарет Е.Л.* Основи електро- та акупунктури / *Е.Л. Мачарет, О.О. Коркушко.* – К.: Здоров'я. – 1993. – 392 с. 6. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних електрографічних сигналів. Навчальний посібник / За ред. *З.Ю. Готри.* – Л.: Ліга-Прес, 2010. – 308 с. 7. *Popov A.O.* Identification of epileptiform patterns in electroencephalogram / *A.O. Popov, V.O. Fesechko, A.M. Kanaykin* // Proceedings of SPIE. – 2006. – Vol. 6159. – P. 1104–1113. 8. *Балагура І.В.* Програмне забезпечення користувача персонального медичного електронного паспорту / *І.В. Балагура* // Збірник праць першого всеукраїнського з'їзду "Медична та біологічна інформатика і кібернетика". – 2010. – С. 27. 9. *Нечипоренко Ю.Л.* Стандарти та взаємодія складових медичних інформаційних систем / *Ю.Л. Нечипоренко* // Збірник праць першого всеукраїнського з'їзду "Медична та біологічна інформатика і кібернетика". – 2010. – С. 61. 10. Processing and anlysis of the EEG // www.dx-sys.com.ua.

Стаття представлена докт. техн. наук, проф. каф. електронних приладів Національного університету "Львівська політехніка" Голяка Р.Л.

UDC 651.84

Организация интерфейса для систем медицинской диагностики и поддержки принятия решений / Дорош О.И., Кучмий Г.Л., Дорош Н.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 95 – 99.

В статье рассмотрена методика организации интерфейса для систем медицинской диагностики, которая предусматривает создание многооконной среды для введения измеряемых параметров и отображения результатов их обработки в числовом и графическом виде. Приведены примеры практической реализации интерфейса для системы анализа электроэнцефалограмм и программного интерфейса для моделирования нелинейной карты Риодераку в системе акупунктурной диагностики. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: интерфейс, анализ энцефалограмм, моделирование, карта Риодераку.

UDC 651.84

Interface organization for medical diagnostics and decision support systems / Dorosh O.I., Kuchmii H.L., Dorosh N.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 95 – 99.

Technique of the interface organization for systems of medical diagnostics which provides creation of the multiwindow software for introduction of measured parameters and display of processing results in numerical and graphical form is considered in article. Examples of practical realization of the interface for electroencephalogram analysis system and the program interface for modelling of a nonlinear Rioderaku card in acupuncture diagnostics system are shown. Refs: 10 titles.

Key words: interface, electroencephalogram analysis, modelling, Rioderaku card.

Поступила в редакцію 30.05.2010

В.Г. ИВАНОВ, д-р. техн. наук, проф., **Ю.В. ЛОМОНОСОВ**, канд. техн. наук, доц., **М.Г. ЛЮБАРСКИЙ**, д-р физ.-мат. наук, проф., **М.В. ГВОЗДЕНКО**, ст. преп., НЮАУ им. Я. Мудрого (г. Харьков)

СИНТЕЗ СИГНАЛОВ РЯДАМИ ХААРА ПРИ ДВОИЧНОМ ЗАДАНИИ АРГУМЕНТОВ

Показано, что на основе объединения свойств быстрых алгоритмов преобразований Хаара и особенностей суммирования рядов Хаара при двоичном задании аргументов восстанавливаемой функции удается получить максимально эффективный в вычислительном отношении алгоритм обработки. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: ряды Хаара, синтез сигналов, быстрые алгоритмы, двоичное задание аргументов.

Постановка проблемы и анализ литературы. Современные высокоэффективные алгоритмы обработки сигналов и изображений базирующиеся, в основном, на методах вейвлет-анализа, среди которых заметное место занимает классический ортогональный базис Хаара [1 – 4]. Функции Хаара, как и функции Уолша относятся к классу кусочно-постоянных функций. Их существенное отличие от функций Уолша, а также и функций базиса Фурье, заключается в том, что они локализованы на отдельных частях изучаемого интервала. Поэтому функции Хаара, которые позволяют оценить локальные свойства исследуемых сигналов, часто называют вейвлетами Хаара [5, 6]. Так же важным свойством системы Хаара является минимальный объем вычислений как для процедуры получения коэффициентов, так и для процедуры суммирования рядов Хаара. Поэтому весьма актуальной является задача исследования вычислительных возможностей системы Хаара при двоично-кодированном задании аргументов и параллельном способе организации вычислений в специализированных процессорах обработки сигналов.

Задачи обработки сигналов и изображений в реальном масштабе времени требуют анализа известных и создания новых методов вычисления различных математических зависимостей для наиболее полного использования широких возможностей современной электронной техники [7 – 10]. Известно много вариантов алгоритмов и устройств обработки сигналов в дискретном базисе Хаара [1, 3, 4, 6]. Основным недостатком таких схем является то, что их архитектура в большинстве случаев неадекватна структуре решаемой задачи или структуре внутренних связей моделируемого процесса, что влечет за собой большой объем вычислений или оборудования.

Цель статьи. Развитие методов преобразований Хаара на основе объединения свойств быстрых алгоритмов Хаара и особенностей суммирования рядов Хаара при двоичном кодировании аргументов восстанавливаемой функции, что позволит получить максимально эффективный в вычислительном отношении алгоритм обработки.

Описание методов. Синтез сигналов в системе дискретных базисных функций Хаара заключается в вычислении i -го отсчета функции в дискретной точке по выражению

$$P_i(x) = C_0 + \sum_{m=1}^{\log N} \sum_{j=1}^{2^{m-1}} C_{mj} \chi_{mj}(x), \quad (1)$$

где C_{mj} – коэффициенты; χ_{mj} – функции Хаара.

Число элементарных операций при вычислении $P_j(x)$ по формуле (1) может быть существенно снижено [11].

На основании равенства $k = 2^{m-1}$, перейдем в выражении (1) от двойной нумерации коэффициентов и функций Хаара к простой нумерации. Для удобства примем $N = 8$ и запишем получение сумм A_0 и A_1 в виде

$$C_0 + C_2 = A_0; \quad C_0 - C_2 = A_1. \quad (2)$$

A_0 и A_1 , найденные по выражениям (2), однозначно определяются независимо от значения N в выражении (1).

Запишем рекуррентные соотношения для A_i с учетом того, что i будет меняться от 2 до $\alpha = 2(0,5n - 1)$:

$$A_0 + C_3 = A_2; \quad A_1 + C_4 = A_4; \quad (3)$$

$$A_0 - C_3 = A_3; \quad A_1 - C_4 = A_5.$$

Значения индексов коэффициентов C_k в (3) можно выразить через индексы i обобщенных сумм A_i как $k = \Pi(0,5i)+2$, а знаки C_k определить выражением $t = (-1)^i$.

Пронормируем коэффициенты C_k в (3) с учетом определения функций Хаара

$$C_k = C_k 2^{(m-1)/2}, \quad (4)$$

где $m = 2, 3, \dots, \log N - 1$, а $k = 2^{m-1} + 1, \dots, 2m$. Тогда выражения для формирования соответствующих сумм A_i в окончательной форме можно записать в виде:

$$A_i = C_0 + C_2(-1)^i, \text{ где } i = 0, 1 \quad (5)$$

и

$$A_i = A_{k-3} + C_k(-1)^i, \quad (6)$$

где $i = 2, 3, \dots, 2[(0,5n - 1) - 1]$, а коэффициенты C_k и их индексы были определены выше.

Таким образом, в общем виде для ортогонального и нормированного базиса Хаара, формулы синтеза можно записать в виде:

$$P_i(x) = A_{1+Q} + C_{k+Q}(-1)^{i+1} 2^{(\log N - 1)/2}, \quad (7)$$

где $i = 1, 2, \dots, N, 1 = (0,5n - 2), Q = \lfloor (i+1)/2 \rfloor - 1$ и $\lfloor x \rfloor$ – целая часть числа x .

Количество вычислительных операций типа сложения – вычитания по формулам (2), (5), (6) и (7) равно количеству вычислений прямого преобразования и составляет $2(N - 1)$.

Модификация процедур вычисления сумм Хаара в двоичной системе счисления. В цифровых устройствах находит применение известный метод восстановления исходных данных, заключающийся в том, что производят анализ разрядов двоичной записи номера отсчета восстанавливаемой функции и затем суммируют коэффициенты ортогонального преобразования Хаара с соответствующими знаками [2].

Задаваясь коэффициентами Хаара a_{mj} и полагая для простоты $n = 2^{m_0}$, запишем последовательность вычислений в следующем виде

$$P_n(x) = a_1 + \sum_{m=1}^{m_0} \sum_{j=1}^{2^{m-1}} a_{mj} \chi_{mj}(x). \quad (8)$$

Вместо коэффициентов a_{mj} более удобно оперировать с числами

$b_{mj} = 2^{m-1} a_{mj}$. Тогда (8) можно переписать как

$$P_n(x) = a_1 + \sum_{m=1}^{m_0} \sum_{j=1}^{2^{m-1}} b_{mj} \operatorname{sgn} \chi_{mj}(x).$$

Из анализа свойств функций Хаара легко видеть, что для каждого фиксированного "x" в этой сумме найдется не более чем m_0 отличных от нуля слагаемых. Действительно, среди отрезков ℓ_{mj} с $1 \leq j \leq 2^{m-1}$ лишь один содержит точку x . Пусть это будет отрезок $\ell_m, j_m(x)$. Тогда

$$\sum_{j=1}^{2^{m-1}} b_{mj} \operatorname{sgn} \chi_{mj}(x) = b_m, j_m(x) \operatorname{sgn} \chi_m, j_m(x)$$

и, следовательно,

$$P_n(x) = a_1 + \sum_{m=1}^{m_0} b_m, j_m(x) \operatorname{sgn} \chi_m, j_m(x).$$

В [2] утверждается и доказывается следующая теорема.

Если в двоичной системе счисления $x = 0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_s, \dots$, то

$$P_n(x) = a_1 + \sum_{m=1}^{m_0} (-1)^{\varepsilon_m} b_m, j_m, \quad (9)$$

где опять таки в двоичной системе

$$j_{m-1} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \dots \varepsilon_{m-1} \quad (10)$$

(при $m = 1$ правую часть (10) надо полагать равной нулю).

Здесь все ε_s – двоичные цифры, то есть либо нули, либо единицы. В десятичной системе значение x и формула (10) будут выглядеть так:

$$x = \varepsilon_1 2^{-1} + \varepsilon_2 2^{-2} + \dots + \varepsilon_s 2^{-s} + \dots,$$

$$j_m - 1 = \varepsilon_1 2^{m-2} + \varepsilon_2 2^{m-3} + \dots + \varepsilon_{m-2} 2 + \varepsilon_{m-1}.$$

Из (9) и (10) следует весьма простой способ вычисления $P_n(x)$ на ЭВМ, использующих двоичную систему. Так как аргумент x задается своим двоичным представлением $x = 0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$, то при каждом m легко выделить цифры $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_{m-1}$. Для этого нужны только простейшие логические операции. По значениям m и j_m можно сформировать адрес ячейки, содержащей b_{m,j_m} . Если следующая цифра в двоичной записи числа x (то есть ε_2) равна нулю, то в b_{m,j_m} прибавляется к накапливаемой сумме, а если следующая цифра равна 1, то b_{m,j_m} вычитается:

$$z_m - z_{m-1} + (-1)^{\varepsilon_m} b_{m,j_m}, \quad (11)$$

где $m = 1, 2, \dots, m_0$.

Начав с $z_0 = a_1$, получим $z_{m_0} = P_n(x)$.

Рассмотрим работу алгоритма при восстановлении исходной информации, например, числа 0,010. Присваивая m значение 1 по формуле $j_m = 0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_{m-1} + 1$ вычислим индексы коэффициентов Хаара, которые будут равны

$$j_m = 0 + 1 = 1, \text{ и } b_{m,j_m} = b_{11}.$$

Определим теперь знак этого коэффициента, анализируя первый разряд после запятой в двоичном представлении числа x , и так как он равен 0, коэффициент b_{11} берем со знаком плюс. Аналогично при $m = 2$ и 3 $j_m = 0, \underline{0}10 + 1 = 1$ и $j_m = 0, \underline{0}10 + 1 = 2$ коэффициенты b_{21} и b_{32} суммируются со знаком минус и плюс соответственно. Таким образом, значение исходной функции в точке $x = 0,010$ определяется как

$$P_n(0,010) = a_1 + b_{11} - b_{21} + b_{32}. \quad (12)$$

Такой же результат дают обычные вычисления.

В каждом цикле приведенного алгоритма производится одно сложение и несколько логических операций, и общее число вычислений в одной точке стремится к значению двоичного логарифма размерности базиса Хаара, а все время суммирования составит $Q = N \log N$, где N – число дискрет аргумента на единичном интервале.

Недостатком рассмотренного метода является его вычислительная избыточность. Покажем, что объем вычислений при восстановлении исходных данных по коэффициентам Хаара в двоичной системе счисления может быть существенно уменьшен [11, 12].

Для этих целей прежде, чем суммировать коэффициенты Хаара на основании анализа двоичных разрядов в дискретных точках восстановления исходных функций, сформируем суммы следующего вида

$$A_0 = C_0 + C_2; \quad A_1 = C_0 - C_2; \quad A_i = A_{k-3} + C_k(-1)^i, \quad (13)$$

где $i = 2, 3, \dots, (N-3)$, $k = \Pi(\frac{i}{2}) + 2$.

Тогда суммирование коэффициентов Хаара в каждой точке восстановления можно представить в виде:

$$P_n(x) = A_{j_m} + b_{m,j_m^*}(-1)^{\varepsilon_m}, \quad (14)$$

где $j_m = \varepsilon_1\varepsilon_2\dots\varepsilon_{m-1} + (N/2 - 2)$ для первого слагаемого, и $j_m^* = \varepsilon_1\varepsilon_2\dots\varepsilon_{m-1} + 1$ для второго слагаемого, причем $m = m_0$.

Так в случае, если $N = 8$, то процесс вычислений будет начинаться с определения соответствующих сумм вида:

$$\begin{aligned} A_0 &= C_0 + C_2; \quad A_1 = C_0 - C_2; \quad A_2 = A_0 + C_3; \\ A_3 &= A_0 - C_3; \quad A_4 = A_1 + C_4; \quad A_5 = A_1 - C_4. \end{aligned}$$

Затем осуществляется восстановление данных в каждой точке отсчета исходной функции по выражению (14) с учетом того, что первому отсчету соответствует двоичное представление вида 0,000, второму 0,001, третьему 0,010 и т.д. Для точки 0,010 получим: $j_m = 0,010 + 2 = 3$ и $j_m^* = 0,010 + 1 = 2$.

$P_3(0,010) = A_3 + b_{32} = A_0 - C_3 + b_{32} = C_0 + C_2 - C_3 + b_{32}$ или с двоичными индексами, $P_3(0,010) = a_1 + b_{11} - b_{21} + b_{32}$.

Значения индексов коэффициентов и их знаков совпадают со значениями, определенными на основе свойств классических функций Хаара, но количество операций типа сложение – вычитание составляет при этом $2(N-1)$ вместо $N \log_2 N$ известного метода [2].

Выводы. Предложенные аналитические методы синтеза сигналов рядами Хаара на основе объединения свойств быстрых алгоритмов преобразований Хаара и особенностей суммирования коэффициентов этих преобразований при двоичном задании аргументов позволили получить максимально эффективный в вычислительном отношении алгоритм обработки. Полученные выражения характеризуются однотипностью процедур, легко программируются и наиболее приемлемы для разработки вычислительных средств с различным уровнем параллелизма и сложностью вычислительного процесса.

Для процессоров этого типа характерно наличие однотипных модульных локально-связанных процессорных элементов и совмещение в своей архитектуре наиболее мощных принципов параллельной обработки – конвейерного и матричного. Работа таких структур аналогична процессам, происходящим в живом организме: информация в них обрабатывается путем "проталкивания" ее через параллельные магистрали процессорных элементов

подобно тому, как сердце перекачивает кровь по системе кровообращения. По аналогии с сердечной систолой, которая используется физиологами для обозначения ритмических регулярных сокращений, процессоры с такой архитектурой получили название систолических.

Список литературы: 1. *Ахмед, Н.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / *Н. Ахмед, К.Р. Рао.* – М.: Связь, 1980. – 248 с. 2. *Соболь, И.М.* Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара / *И.М. Соболь.* – М.: Наука, 1970. – 288 с. 3. *Залманзон Л.А.* Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / *Л.А. Залманзон.* – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 496 с. 4. *Миано Дж.* Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учеб. пособ. / *Дж. Миано.* – М.: Триумф, 2003. – 336 с. 5. *Дебеш, И.* Десять лекций по вейвлетам / *И. Дебеш.* – М.: Ижевск, 2001. – 464 с. 6. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / *Р. Гонсалес, Р. Вудс.* – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 7. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов / Под ред. *С. Гуна, Х. Уайтхадса, Т. Кайлата.* – М.: Радио и связь, 1989. – 472 с. 8. *Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова.* Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. – М.: Информпресс-94, 2004. – Вып. 4–1. – 317 с. 9. *Итенберг И.И.* Мультипроцессоры для цифровой обработки изображений в системах реального времени / *И.И. Итенберг* // Известия вузов. Электроника. – М., 2002. – № 4. – С. 71–78. 10. *Евдокимов, В.Ф.* Параллельные вычислительные структуры на основе разрядных методов вычислений / *В.Ф. Евдокимов, А.И. Стасюк.* – К.: Наук. думка, 1987. – 312 с. 11. *Иванов В.Г.* Параллельные и последовательные структуры Хаара для цифровой обработки сигналов / *В.Г. Иванов* // Электронное моделирование. – 2005. – № 3. – С. 55–66. 12. *Иванов В.Г.* Формальное описание дискретных преобразований Хаара / *В.Г. Иванов* // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 5. – С. 68–75.

УДК 004.627

Синтез сигналів рядами Хаара при двійковому завданні аргументів / В.Г. Іванов, Ю.В. Ломоносов, М.Г. Любарський, М.В. Гвозденко // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатики і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 100 – 105.

Показано, що на основі об'єднання властивостей швидких алгоритмів перетворень Хаара і особливостей підсумовування рядів Хаара при двійковому завданні аргументів відновлюваної функції вдається отримати максимально ефективний в обчислювальному відношенні алгоритм обробки. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: ряди Хаара, синтез сигналів, швидкі алгоритми, двійкове завдання аргументів.

UDC 004.627

Synthesis of signals the rows of Haar at the binary task of arguments / V.G. Ivanov, U.V. Lomonosov, M.G. Lyubarsky, M.V. Gvozdenko // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 100 – 105.

It is retined that on the basis of association of properties of rapid algorithms of transformations of Haar and features of adding up of rows of Haar at the binary task of arguments a refurbishable function it is succeeded to get the maximally effective in a calculable relation algorithm of treatment .

Keywords: rows of Haar, synthesis of signals, rapid algorithms, binary task of arguments.

Поступила в редакцию 15.05.2010

В.В. КРАСНОПРОШИН, д-р техн. наук, проф., зав. каф. МО

АСУ БГУ (г. Минск),

О.Л. КОНОВАЛОВ, с.н.с. каф. МО АСУ БГУ (г. Минск),

А.Н. ВАЛЬВАЧЕВ, с.н.с. каф. МО АСУ БГУ (г. Минск)

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОГНИТИВНЫХ РЕСУРСОВ

Рассмотрена задача построения баз знаний на основе распределенных когнитивных ресурсов для систем поддержки принятия решений. Выделены подзадачи: создание виртуальной организации для доступа к ресурсам, построение модели знаний, обогащение модели за счет знаний ресурсов и формирование базы знаний. Предложено решение на основе синтеза элементов теории организации и многоагентного подхода. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: базы знаний, распределенные когнитивные ресурсы, системы поддержки принятия решений, виртуальная организация.

Постановка проблемы. Глобализация поставила перед человеческим сообществом ряд новых экономических, социальных, медицинских, экологических и других проблем [1]. Для их оперативного и качественного решения необходимы инновационные знания, которые, как правило, распределены по научным центрам, расположенным в разных странах мира [2]. Источниками знаний могут быть эксперты, инженеры, технологи и другие лица, которых определим как распределенные когнитивные ресурсы (РКР). Инновационные знания (далее – знания) будем рассматривать как структурированную и формализованную информацию, необходимую и достаточную для решения задачи и обладающую свойствами актуальности, точности и полноты. В постиндустриальном мире знания, особенно технологические, имеют ряд специфических свойств: распределенность, короткий жизненный цикл, комплексное (теоретическое + технологическое) применение [2, 3].

В компьютерных системах знания формализуются согласно некоторой модели (логической, продукционной, фреймовой, семантической и др.), хранятся в базах знаний (БЗ) и применяются в процессах принятия решений.

Построение БЗ включает три этапа: приобретение знаний, их формализация и программирование БЗ. Традиционно их реализация считается долговременным и дорогостоящим процессом, что противоречит указанным выше свойствам знаний, является причиной применения устаревших знаний и слабого распространения систем, основанных на знаниях [4].

Новые глобальные угрозы, в частности, экологические (например, загрязнение Мексиканского залива), привели к необходимости разработки новых методов и структур знаний, позволяющих формировать и оперативно применять БЗ для решения возникающих проблем в кратчайший срок на основе инноваций РКР независимо от места их расположения [1]. Эта задача

достаточно трудна, многогранна и недостаточно исследована, т.к. понимание масштаба изменений среды и необходимости быстрого принятия адекватных решений пришло сравнительно недавно. В данной работе рассматривается один из подходов к ее решению на основе фреймовой модели для конкретной структуры знаний и соответствующего класса практических задач.

Анализ литературы. Методы получения и использования знаний исследуются в рамках следующих основных направлений: 1) построение моделей организаций, обеспечивающих доступ к знаниям [1, 3]; 2) разработка методов представления и приобретения знаний [2]; 3) создание коммуникаций для обмена информацией в разнородных средах [5]; 4) разработка компьютерных систем моделирования, получения и тиражирования знаний [4, 6]. По каждому из них получен широкий спектр результатов.

В литературе организация рассматривается как активная система [3], как интеллектуальная организация [2], как иерархия [6]. Однако предложенные модели в целом ориентированы на многошаговые игровые методы Гермейера-Моисеева, что затрудняет их применение для организации оперативного одношагового диалога, характерного для РКР.

Методы приобретения знаний [2] в основном используют прямой диалог "аналитик-эксперт", что практически исключено для удаленных источников, характерных для РКР.

Коммуникационные схемы обмена информацией (COM, WEB) предложены для инфраструктур с различными свойствами [5], их основным недостатком является слабая защита от несанкционированного доступа, что подтверждает большое количество результативных атак на сайты крупнейших правительственных организаций США и Европы.

Цель статьи – разработка организационной, информационной, коммуникационной и программной основы для построения комплексной технологии построения БЗ, инвариантной количеству РКР.

Постановка задачи. Пусть имеется центр Center, задача S , декомпозируемая на подзадачи $S^1, S^2, \dots, S^n$ и распределенные эксперты $E = \{E^1, E^2, \dots, E^n\}$ – обладающие знаниями $D = \{D^1, D^2, \dots, D^n\}$ для их решения. Требуется разработать технологию преобразования S в D , обеспечивающую инвариантность времени формирования БЗ количеству ресурсов [7, 8].

Комплексное решение общей задачи включает следующие подзадачи: 1) построение модели организации, включающей центр, РКР и глобальные коммуникации; 2) построение модели знаний mD ; 3) разработку механизмов обогащения модели mD за счет знаний удаленных E ; 4) формирование БЗ; 5) публикация БЗ в форме компьютерных систем различного направления.

Основные требования к решению: использование стандартных IBM-совместимых персональных компьютеров; OS Windows XP; прозрачность архитектуры; интуитивно понятный интерфейс.

Модель организации. В качестве основы для модели организации возьмем аппарат теории графов, так как он широко используется для моделирования иерархий, к которым относится структура любой организации.

Состав организации (Centr, E) несет идентификационную, функциональную и диалоговую нагрузку, что позволяет им совместно решать задачи и обмениваться информацией. Для отображения этих свойств в графе:

1) пометим вершины графа. В качестве метки возьмем номер (N^{ij}), по которому будем выполнять локальную идентификацию вершин в графе;

2) каждому номеру вершины поставим в соответствие конечное множество объектов (атрибутов attr), обеспечивающих идентификацию вершины в глобальной среде и выполняющих некоторые другие функции;

3) каждое ребро пометим идентификатором посредника m , обеспечивающего информационное взаимодействие между вершинами.

В результате получим атрибутированное дерево.

Соответственно под моделью структуры ОС, будем понимать связанное атрибутированное дерево $G = (V, E)$, вершины которого отражают свойства акторов, а дуги – информационные потоки между ними в распределенной среде. В рамках данной модели знания представлены в атрибутах вершин.

Модель знаний. Модель БЗ будем строить с прагматической точки зрения, то есть как разнородную структурированную информацию, обеспечивающую комплексное решение задачи. За основу возьмем идею паттернов проектирования, предложенную Э. Гаммы, Д. Джонсона и др. [4]. Соответственно знания представим как комплекс структур, включающий: постановку задачи (S), теоретическое решение (dTheor), технологическое решение (dPrac) и инструкцию по применению (Manual) (рис. 1).

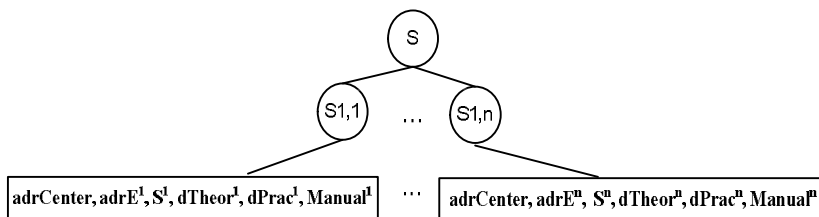


Рис. 1. Технологически-ориентированная модель БЗ

Параметры модели можно рассматривать как атрибуты узлов в модели организации, что создает основу для получения и интеграции знаний РКР в БЗ.

Обогащение модели БЗ. На основании модели БЗ можно однозначно выделить процессы ее обогащения:

- 1) формулирование в Center задачи S^i ;
- 2) выбор ресурса E^i ;

- 3) отправка паттерна m к E^i , где $M = (\text{adrCEnter}, \text{adeE}^i, S^i, \text{dTheor}^i, \text{dPrac}^i, \text{Manual}^i)$, причем $\text{dTheor}^i, \text{dPrac}^i, \text{Manual}^i = \emptyset$;
- 4) включение ресурсом E^i в паттерн знаний $\text{dTheor}^i, \text{dPrac}^i, \text{Manual}^i$;
- 5) отправка обогащенного паттерна E^i в центр;
- 6) интеграция паттернов в единую БЗ.

Предложенный подход к построению БЗ носит универсальный характер и не накладывает ограничений на модели представления $\text{dTheor}^i, \text{dPrac}^i, \text{Manual}^i$. Тем не менее, процессы 1 – 6 позволяют выделить элементы архитектуры компьютерной системы для автоматизации построения БЗ на основе РКР.

Архитектура системы. Основным свойством модели организации является ее распределенность. Для автоматизации решения распределенных задач предлагается использовать многоагентный подход, т.к. он позволяет совмещать преимущества WEB-подхода и средства защиты от несанкционированного доступа. На основании приведенных выше рассуждений можно выделить четыре агента: построения организации (ModOrg) и инициализации задачи (ModTask), построения и обогащения модели БЗ (Miner), интеграции (Integrator) и публикации (Publicator) БЗ. Архитектура системы, обеспечивающей их совместную деятельность, представлена на (рис. 2).

Такая архитектура в принципе позволяет подстраивать общую схему решения под различную семантику задач, различные модели знаний и агентов использования БЗ из других библиотек (через XML-шлюз). Практическая реализация архитектуры должна учитывать возможность быстрой модификации каждого их агентов за счет замены модулей извлечения знаний на более совершенные и использования разработанных ранее программных кодов, включая типовые диалоги для разных видов ресурсов.

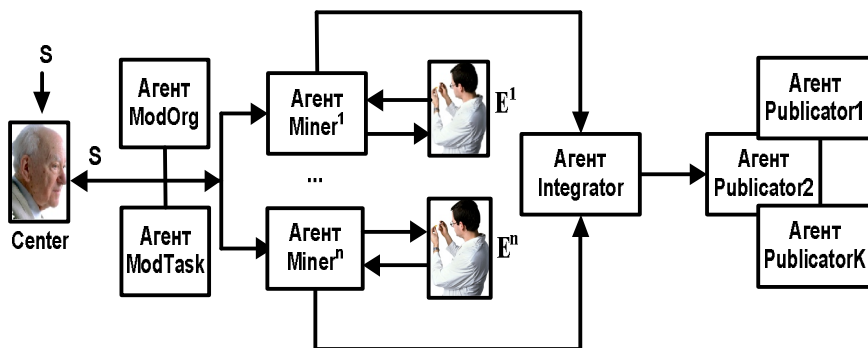


Рис. 2. Архитектура системы построения и использования БЗ

Реализация архитектуры. Для автоматизации решения распределенных задач применяются две основные технологии: Java 2 Platform, Enterprise Edition (J2EE) от SUN и .Net от Microsoft. Предлагается использовать второй вариант, т.к. при прочих примерно равных возможностях .Net имеет возможность применения ранее созданных кодов на разных языках, включая C++, Visual Basic, Fortran и др., что важно при использовании различных методов приобретения знаний. На языке C# была разработана библиотека агентов, которые применяются для построения БЗ в различных компьютерных системах, включая системы оперативного управления.

В целом эффективность разработанной технологии обеспечивается существенным сокращением времени и средств на создание БЗ и формирование систем за счет автоматизации наиболее трудоемких процессов.

Выводы. В работе рассмотрена проблема построения технологии для оперативного построения БЗ на основе распределенных РКР.

Предложено комплексное решение, включающее:

- открытую модель распределенной организации, ориентированную на использование инновационных знаний РКР. В отличие от существующих моделей, она допускает параллельное получение знаний от удаленных ресурсов и быструю замену источников;

- структурную модель представления знаний, обеспечивающую, в отличие от традиционных моделей, технологически ориентированную парадигму моделирования и применения;

- многоагентную архитектуру системы, обеспечивающую параллельное получение знаний РКР для формирования БЗ и допускающую подключение внешних модулей для разностороннего использования БЗ;

- компьютерную систему, обеспечивающую комплексное решение задачи построения БЗ на основе РКР в рамках предложенных моделей.

Список литературы: 1. Глобализация и конкурентоспособность // Сборник статей. – СПб: Альпина Бизнес Бук, 2003. – 208 с. 2. Гаврилова Т. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. Гаврилова, В. Хорошевский. – СПб: Питер, 2001. – 384 с. 3. Новиков Д.А. Теория управления активными системами / Д.А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с. 4. Гамма Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хемл, Д. Джонсон, Д. Влиссидес. – СПб.: Питер, 2001. – 368 с. 5. Василик М.А. Основы теории коммуникаций. – М.: Гордарики, 2003. – 616 с. 6. Wooldridge M. Multiagent Systems / M. Wooldridge. – 2002. – 340 p. 7. Краснопрошин В.В. Интеграция распределенных экспертных знаний: проблемы и решения / В.В.Краснопрошин, Г. Шлаха, А.Н. Вальвачев // Информатика. – Минск, 2004. – № 1. – С. 45–53. 8. Krasnoproshin V. Unstructured Knowledge Synthesis for Decision-Making Problems / V. Krasnoproshin, A. Valvachev, H. Vissia / Proc. of the 7-th International Conference, PRIP'2003. – Minsk, 2003. – Vol. 1. – P. 145–149.

УДК 519.71

Технологія побудови баз знань на основі розподілених когнітивних ресурсів / В.В. Краснопрошин, О.Л. Коновалов, А.Н. Вальвачев // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 106 – 111.

Розглянуто завдання побудови баз знань на основі розподілених когнітивних ресурсів для систем підтримки прийняття рішень. Виділені підзадачі: створення віртуальної організації для

доступу до ресурсів, побудова моделі знань, збагачення моделі за рахунок знань ресурсів і формування бази знань. Запропоновано вирішення на основі синтезу елементів теорії організації і багатоагентного підходу. Іл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: бази знань, розподілені когнітивні ресурси, системи підтримки прийняття рішень, віртуальна організація.

UDC 519.71

Technology of building knowledge bases on distributed cognition resources
/ V.V. Krasnoproshin, O.L. Konovalov, A.N. Valvachev // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 106 – 111.

The paper describes the use of distributed cognitive resources for constructing knowledge base. The proposed theoretical and technological basis is the use of the graph theory and multivalent approach. The agent's library is successfully functioning at many management computer systems of the Republic of Belarus. Figs: 2. Refs: 8 titles.

Key words: knowledge base, distributed cognition resources, decision making, virtual organization.

Поступила в редакцію 20.05.2010

В.В. КРАСНОПРОШИН, д-р техн. наук, проф., зав. каф. БГУ (г. Минск),
Е.А. ЛОСИЦКИЙ, д-р мед. наук, директор РЦСМ (г. Минск),
В.А. ОБРАЗЦОВ, канд. физ.-мат. наук, доц. БГУ (г. Минск),
Х. ВИССИА, аспирант БГУ (г. Минск),
С.Е. ГУТНИКОВ, ст. научн. сотр. БГУ (г. Минск),
С.А. ПОПОК, ортопед-травматолог 6-ой клинической больницы
(г. Минск)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ В СПОРТИВНОЙ ТРАВМАТОЛОГИИ

В работе обсуждаются проблемы, связанные с разработкой систем поддержки решений в спортивной травматологии. Предложена математическая модель, которая базируется на идеях и методах теории распознавания образов. Приводятся состав и структура интеллектуальной компьютерной системы EXTRA, которая успешно функционирует в Республиканском Центре спортивной медицины Республики Беларусь. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: система поддержки решений, математическая модель, распознавание образов, состав и структура интеллектуальной компьютерной системы EXTRA.

Постановка проблемы. В настоящее время наработано большое количество медицинских знаний, которые рассредоточены по всему миру и записаны на разных носителях, начиная от традиционных – книг и журналов, и заканчивая различными электронными вариантами хранения информации. Чем больше появляется новых методов, тем сложнее сделать правильный выбор, наиболее подходящий конкретному пациенту. Различные авторы и школы пропагандируют собственную методику, утверждая, что она самая лучшая и продуктивная (особенно, когда это касается коммерческих продуктов). В этой массе информации и рекламных предложений трудно разобраться даже профессионалу, не говоря уже о молодом специалисте. Таким образом, у специалиста всегда существует проблема выбора метода лечения. И чем менее опытен специалист, тем трудней она решается. Существует также проблема по сбору, структуризации, обобщению знаний, их адаптации к реальным процессам. Одним из возможных путей решения указанных проблем является компьютеризация процессов подготовки, хранения и использования информации/знаний, имеющих отношение к постановке диагноза и выбору тактики лечения/реабилитации. В данной статье обсуждается проблема разработки компьютерной технологии и построение системы поддержки принятия решений в области спортивной травматологии.

Подобные системы помимо их научной и технологической значимости, имеют и прикладное значение даже на этапе разработки и тестирования. Они могут использоваться как для студентов, в целях повышения интенсивности и качества процесса обучения, так и в качестве средства консалтинга для практикующих врачей (в первую очередь молодых). Кроме того, они являются мощным инструментальным средством аккумуляции и эффективного

использования новейших знаний для решения задач травматологии и реабилитации. Современные информационно-компьютерные технологии могут помочь разобраться с потоком информации, сориентировать специалиста в выборе нужного метода лечения, ускорить процесс приобретения опыта.

Анализ литературы [1 – 10] показывает, что большинство современных систем поддержки принятия решений с приложением в медицине можно разделить на три больших и достаточно независимых направления. Первое из них связано с развитием технологий телемедицины [1 – 3]. Второе в большей степени ориентировано на клиническую практику и т.н. доказательную медицину [1, 3, 8]. Третье направление базируется на идеологии, основы которой были заложены еще в экспертных системах [1, 4, 9, 10]. Именно последнее направление является в наибольшей степени технологически независимым от предметной области. Поэтому построение систем поддержки принятия решений, основанных на логическом выводе, моделях распознавания образов [5 – 7, 9], интеграция соответствующих технологий со стандартными средствами манипуляциями данными/знаниями, представляются наиболее перспективными.

Цель статьи – разработка новых компьютерных технологий, ориентированных на автоматизацию процессов подготовки, хранения и использования информации/знаний, имеющих отношение к постановке диагноза и выбору тактики лечения/реабилитации, и построение на ее базе системы поддержки принятия решений в области спортивной травматологии.

Математическая модель. Задачи диагностики и лечения без труда сводятся к постановке задач распознавания. Методы их решения, как известно, зависят от характера априорной информации. Обычно в задачах распознавания есть только два варианта представления такой информации – логический и прецедентный. Поэтому, предложенная в работе технология базируется на алгоритмах двух типов – дедуктивный и индуктивный выводы. Первый из них представляет собой обычную резолюцию [4], которая является универсальным алгоритмом и специфицирована для использования с различными (по языку описания) знаниями.

Как известно, метод резолюции обоснован по всем канонам математической строгости. Иначе обстоит дело с индуктивным выводом (под которым обычно понимают технику доопределения свойств конечного числа объектов на бесконечность [6]). Универсальной и уж тем более обоснованной техники такого вывода не существует. Но поскольку решать задачи необходимо и решение должно быть технологично, то проблема разработки алгоритма индуктивного вывода и обоснование последнего, становится очень важной в контексте определения основных спецификаций знаний в системе поддержки принятия решений. Сделать это можно, к примеру, с использованием техники распознавания образов.

Полное описание алгоритма с доказательством его обоснованности можно найти в работе [7]. Нам представляется, что предложенный алгоритм обладает всеми чертами универсальности и может быть охарактеризован двумя следующими свойствами:

- монотонностью, понимаемой в смысле обычной импликации: *монотонность количества информации $\Rightarrow$ монотонность в количественных и качественных оценках свойств;*

- структурной декомпозицией информации: *любая информация представима в виде независимых частей, каждая из которых монотонна по количеству информации относительно того, что является известным. Если это не выполняется, то объект является не допустимым.*

Схема обоснования алгоритма довольно проста и базируется на обоснованности дедуктивного вывода. Смысл ее заключается в следующем: *если для каждой задачи, разрешимой методом резолюции с гарантированным (обоснованным) результатом, можно указать конечный объем информации, которого достаточно для совпадения результатов, полученных методом резолюции и алгоритмом индуктивного вывода, то последний также является обоснованным.*

Состав и структура программного комплекса EXTRA. Предлагается система для поддержки решений в спортивной травматологии и реабилитации в виде программного трехмодульного комплекса. Это диагностический и лечебный блоки и раздел нормальной анатомии опорно-двигательного аппарата. При этом модули могут функционировать как отдельно, так и совместно. Архитектура системы представлена на рис.

Архитектура системы основана на технологии клиент-сервер, что предполагает распределённую обработку информации. В клиентскую часть, функционирующую на сетевых рабочих станциях, включены функции, ориентированные на работу с конечным пользователем. Серверные компоненты системы, предназначенные для работы в составе сетевого сервера, обеспечивают "внутренние" функции (такие, как, например, управление базами данных и знаний). Сервер предполагает возможность работы нескольких пользователей одновременно.

Относительно функционального содержания системы, заметим следующее:

1. Некоторые параметры функционирования системы могут меняться через так называемые файлы конфигурации, что дает некоторую гибкость и позволяет настроить систему под конкретные условия эксплуатации.

2. Клиент общается с сервером посредством запросов, используя сетевые возможности операционной системы.

3. Сервер может работать в открытом или защищенном режиме, ограничивая круг пользователей системы и их права. Для описания групп пользователей используются стандартные средства администрирования операционной системы.

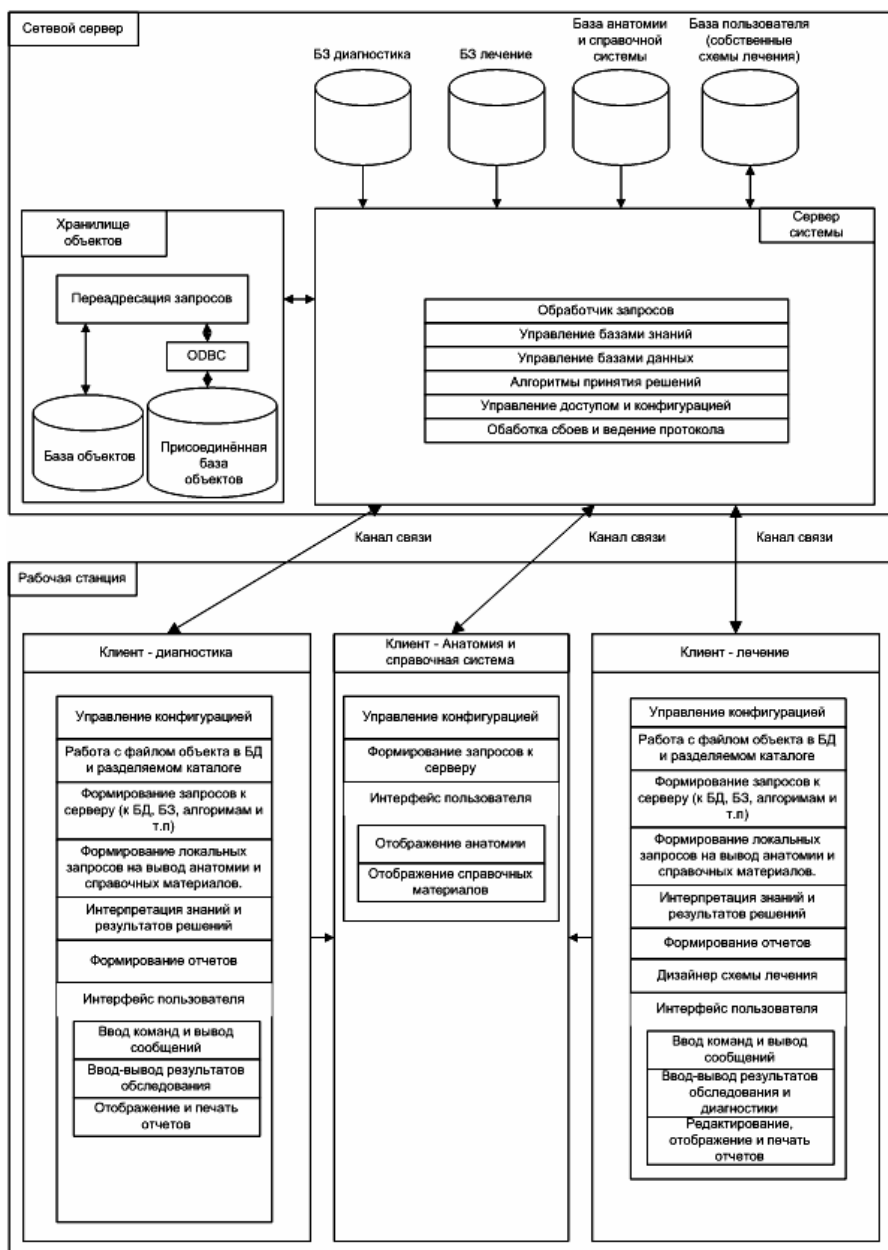


Рис. Сетевой вариант архитектуры системы

4. Предметная область разбита на условно независимые подсистемы – локализации, поддержка решений в которых осуществляется независимо друг от друга.

5. Информация о пациенте, с которым работает пользователь системы, сохраняется в файле пациента. В зависимости от конфигурации системы он может храниться на сервере в БД либо в разделяемых каталогах; доступ к разделяемым каталогам клиент осуществляет через отдельный канал связи, минуя сервер. Предусмотрена возможность встраивания БД пациентов в присоединяемую средствами ODBC БД пользователя, что привлекательно для учреждений, в которых уже ведётся собственная БД пациентов.

Создание системы потребовало оригинальной систематизации, структуризации медицинских знаний. Действие системы охватывает весь процесс от момента обследования до определения тактики лечения. Ее интеллектуальные возможности позволяют получать сведения справочно-энциклопедического характера, которые необходимы специалисту любого уровня квалификации на протяжении всей его практической деятельности. Информация на цифровых носителях и в компьютерной сети может с определенной периодичностью, пополняться новыми знаниями. Созданы программные средства, которые позволяют конструировать программу лечения, сочетая стандартные методы с индивидуальным опытом. Это сделано путем формализации и моделирования отдельных процессов лечения. Так моделирование поведения врача, основано на построении схемы лечения по принципу посиндромной диагностики. Базовой информацией в системе является диагноз с фиксированной одной или несколькими (альтернативными) схемами лечения. Окончательный протокол реабилитации составляется в зависимости от текущего состояния конкретного пациента.

Индивидуализация лечения осуществляется за счет использования опыта и знаний профессионалов в данной предметной области, собранных из различных источников медицинской информации. Информация носит рекомендательный характер и может корректироваться пользователем по своему усмотрению, заменяя метод лечения, изменяя кратность и другие параметры физиотерапевтических процедур, и дозировку медицинских препаратов. Врач также может самостоятельно составить схему лечения, используя имеющиеся в системе базовые методики реабилитационных мероприятий. Система **EXTRA** создавалась с участием специалистов-медиков и успешно функционирует в Республиканской структуре спортивной медицины.

Выводы. Разработанная интеллектуальная система **EXTRA** может использоваться как в обучении, так и в качестве консультанта. Она предназначена для оказания специалисту постоянной информационной поддержки на уровне общих и специальных медицинских знаний, предлагая метод лечения по каждой нозологической форме. Использование подобного рода системы уравнивает условия и качество медицинской помощи в

центральных врачебно-физкультурных диспансерах с первичными спортивными организациями.

Сетевой вариант системы позволяет унифицировать методики лечения и реабилитации, ввести протоколы оказания медицинской помощи спортсменам, делает возможным обмен опытом между пользователями, сбор научных данных с дальнейшей их интерпретацией.

Список литературы: 1. *Miller R.A.* Medical diagnostic decision support systems—past, present, and future: a threaded bibliography and brief commentary / *R.A. Miller* // *J. Am. Med. Inform. Assoc.* – 1994. – 1 (1). – P. 8–27. 2. *Poissant L.* The impact of electronic health records on time efficiency of physicians and nurses: a systematic review / *L. Poissant, J. Pereira, R. Tamblyn* // *J Am Med Inform Assoc.* – 2005. – 12 (5). – P. 505–516. 3. *Koppel R.* Role of computerized physician order entry systems in facilitating medication errors / *R. Koppel, J.P. Metlay, A. Cohen* // *JAMA.* – 2005. – 293 (10). – 1197–1203. 4. *Bergmans J.* Computer-Based Support to Decision-Making in Orthopedics / *J. Bergmans, S. Gutnikov, V. Krasnoproschin, S. Popok, H. Vissia* // *Proc. of Intern. Conf. on Intelligent Technologies in Human-Related Sciences.* – V. 2. – Leon. – 1996. – P. 217–224. 5. *Попок С.А.* Компьютерная система поддержки решений в ортопедии / *С.А. Попок, В.В. Краснопрошин* // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. – Минск. – 1998. – С. 58–59. 6. *Gafurov S.* Problem of Constructing a Decision Support System for Internet Application / *S. Gafurov, V. Krasnoproschin, V. Obraztsov, H. Vissia* // *Proceedings of Sixth International Conference PRIP'2001.* – Minsk. – V. 2. – 2001. – P. 155–162. 7. *Krasnoproschin V.* Decision-Making by Precedence: Modeling, Technology and Applications / *V. Krasnoproschin, V. Obraztsov, H. Vissia* // *Proceedings of International Conference on Modeling and Simulation in Technical and Social Sciences (MS'2002).* – Girona, Spain. – 2002. – P. 267–277. 8. *Юдин В.Н.* Методы интеллектуального анализа данных и вывода по прецедентам в программной системе поддержки врачебных решений / *В.Н. Юдин, Л.Е. Карнов, А.В. Ватазин* // Альманах клинической медицины. – М.: 2008. – Т. 17. – Ч. 1. – С. 266–269. 9. *Прокопчук Ю.А.* Интеллектуальные медицинские системы: формально-логический уровень / *Ю.А. Прокопчук.* – Дн-ск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007. – 259 с. 10. *Гутников С.Е.* Система поддержки решений для спортивной травматологии и реабилитации / *С.Е. Гутников, В.В. Краснопрошин, Е.А. Лосицкий, В.А. Образцов, С.А. Попок* // *Advanced Information and Telemedicine Technologies for Health (AITTH'2008)* / *Proceedings of the Second International Conference.* – Minsk: UIIP NASB, 2008. – P. 169–173.

УДК 519.71

Інтелектуальна система підтримки розв'язків у спортивній травматології / *В.У. Краснопрошин, Я.А. Лосицький, У.А. Абраццоу, Х. Висіа, С.Я. Гутникау, С.А. Папок* // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 112 – 118.

У роботі обговорюються проблеми, пов'язані з розробкою систем підтримки розв'язків у спортивній травматології. Запропонована математична модель, яка базується на ідеях і методах теорії розпізнавання образів. Приводяться склад і структура інтелектуальної комп'ютерної системи EXTRA, яка успішно функціонує в Республіканському Центрі спортивної медицини Республіки Білорусь. Іл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: система підтримки розв'язків, математична модель, розпізнавання образів, склад і структура інтелектуальної комп'ютерної системи EXTRA.

UDC 519.71

Intelligent decision-support system in sports traumatology / *V.V. Krasnoproschin, E.A. Losytsky, V.A. Obraztsov, H. Vissia, S.E. Gutnikov, S.A. Popok* // *Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling.* – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 112 – 118.

The paper deals with problems relating to the development of decision-support systems in sports traumatology. A mathematical model is proposed. The model is based on ideas and methods of pattern

recognition theory. The composition and structure of the intelligent computer system EXTRA are described. The system is successfully functioning at the National Centre for Sports Medicine of the Republic of Belarus. Figs.: 1. Refs.: 10 titles.

Key words: decision-support system, mathematical model, pattern recognition, composition and structure of an intelligent computer system EXTRA.

Поступила в редакцию 18.05.2010

Ю.Е. КРЮК, канд. биол. наук, ОИЭЯИ-"Сосны", (г. Минск),
И.Е. КУНЕЦ, ГУО "Кадры индустрии", (г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрена необходимость автоматизации проведения радиационного мониторинга. Определены требования к информационной системе радиационного мониторинга. С использованием объектно-ориентированного анализа проведено моделирование системы. Выполнена визуализация модели системы в нотациях UML. Ил.: 4. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, моделирование, информационная система, нотации.

Постановка проблемы и анализ литературы. Профессиональная деятельность человека в промышленности связана с опасностью радиационного воздействия. Непрерывный мониторинг за ситуацией облучения на промышленном предприятии является важнейшей задачей радиационной защиты и безопасности [1].

В научном плане мониторинг ситуации облучения – система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающая информацию об облучении с целью оценки параметров, имеющих значения для сохранения жизни и здоровья человека в прошлом, настоящем и будущем [2].

Проведение незамедлительной и адекватной оценки эффективности защитных мероприятий – один из наиболее важных аспектов управления радиационной безопасностью на производстве. Принятие решений по организации защиты и оценка доз облучения работника представляют собой повторяющийся и динамический процесс, включающий пересмотр результатов по мере получения более полной и детальной информации. Анализ данных непрерывного мониторинга в этом случае является основой для принятия решений по организации радиационной защиты. Автоматизация процесса сбора и накопления информации, упростит процесс хранения и доступа, исключит возникновение ошибок при обработке данных, избавит от больших объемов бумажной документации и повысит эффективность принятия решений по обеспечению радиационной защиты и безопасности.

Одним из направлений автоматизации вспомогательного производственного процесса по организации защиты и безопасности работников на радиационно-опасных предприятиях является разработка информационных систем, позволяющих накапливать, обрабатывать и анализировать информацию о ситуации облучения персонала.

Рациональная разработка информационной системы предполагает предварительную аналитическую проработку.

На этапе изучения предметной области необходимо очертить круг задач, выполняемых разрабатываемой системой, затем, разработать модель системы, и определить способы реализации. Моделирование архитектуры разрабатываемой системы на начальных этапах проектирования приводит к снижению сложности процесса создания системы за счет полного и точного описания и всегда окупается впоследствии.

Любая информационная система – сложная система, представляющая собой совокупность различных компонент. Проблемам моделирования сложных информационных систем в процессе их разработки посвящены исследования авторов разных стран, в том числе таких известных как Г. Буч, М. Фаулер, У. Боггс, А.М. Вендров и др. В их работах процесс моделирования представлен как необходимая составляющая разработки сложной информационной системы, безусловно повышающая эффективность ее создания [3 – 6]. Однако в процессе исследования существующего опыта проектирования информационных систем в радиационной безопасности можно сделать вывод, что процесс моделирования не получил широкого распространения, несмотря на его очевидную перспективность [7].

Целью данной статьи является создание концептуальной модели информационной системы радиационного мониторинга персонала с использованием объектно-ориентированной технологии.

Организационная сущность задачи. Радиационный мониторинг работника предприятия, использующего источники ионизирующего излучения, состоит из совокупности индивидуального мониторинга и мониторинга рабочего места [3]. Индивидуальный мониторинг проводится с использованием измерений, осуществляемых индивидуальными приборами, которые носят работники, или измерений количеств радиоактивных веществ, находящихся у них в организме или на их теле. Мониторинг рабочего места представляет собой проведение измерений уровня дозы или радиоактивного загрязнения в конкретных условиях рабочего места. Процесс мониторинга обязательно должен сопровождаться ведением регистрационных записей [4]. Регистрация дозы и условий облучения, данных по использованному оборудованию и типу проводимых работ является важнейшей частью мониторинга и обеспечивает достижение общих целей радиационной защиты и безопасности человека. Регистрационные записи могут быть использованы в обосновании принятия решений, они должны показывать, в какой мере соблюдаются требования регулирующих органов, и способствовать их выполнению, давать возможность реконструкции результатов за любой прошедший промежуток времени. Сохраненные данные по одному типу мониторинга должны быть легко сопоставимы с другими записями. Поэтому они должны быть легко доступны и защищены от утраты. В случае индивидуального мониторинга персонала данные по каждому конкретному лицу следует свести воедино, обозначить место, цель, дату и ответственного за

регистрацию информации, делать записи четкими и понятными, полными и точными. При проведении мониторинга рабочего места следует вести регистрационные записи, документально фиксирующие обозначение и расположение контролируемых зон и зон наблюдения. Результаты должны включать данные обследований радиационной обстановки: дату, время, уровни излучения и использованные приборы. Применение базы данных для этих целей, хранящей помимо оценок доз, дополнительную информацию по типу и условиям облучения, также поддерживающим хранение информации по типу, маркировке, датам поверки и выдачи дозиметров обеспечат высокую степень истинности данных и, следовательно, качества проводимого мониторинга.

Таким образом, основными задачами, которые должна решать разрабатываемая система являются:

- накопление, хранение, обработка, отображение и передача данных о ситуации облучения и персональных данных каждого работника;
- обеспечение доступа к законодательной и нормативной информации по радиационной безопасности;
- подсчет оценки дозы облучения и связанного с полученной дозой индивидуального риска здоровью работника по заданным математическим моделям;
- сравнение полученных величин доз и рисков с установленными граничными уровнями для персонала;
- проведение анализа вариантов защиты для снижения доз и рисков с помощью оптимизационных моделей;
- рекомендации по вариантам защиты, отвечающим требованиям принципа оптимизации радиационной защиты.

В качестве основной задачи, также требующей реализации, – необходимо, чтобы справочная нормативная информация для проведения оценок доз, рисков и оптимизации поступала по запросу пользователя или системы из специального хранилища.

Моделирование системы. Моделирование, как целенаправленное представление анализируемого реального или гипотетического процесса, служит двум целям [5].

Во-первых, это сохранение знаний о структуре, законах функционирования и управления системой в формальном виде (структурное моделирование).

Во-вторых, наполнение модели реальными данными и проведение компьютерной симуляции (имитации реального поведения объекта за отрезок времени) позволяет получить фактографическую основу для принятия решений.

Наиболее актуальной технологией построения сложных моделей сегодня является объектно-ориентированная технология, в основе которой лежит объектный подход, обеспечивающий снижение трудоемкости процесса

разработки и вероятности возникновения ошибок. В этом случае процесс моделирования информационной системы предполагает возможность визуализации и документирования этапов разработки системы в нотациях унифицированного языка моделирования UML [6, 7]. В синтаксисе UML все представления о модели сложной системы фиксируются в виде специальных графических конструкций – диаграмм: диаграммы вариантов использования, диаграммы классов, диаграммы поведения (диаграммы состояния, диаграммы деятельности), диаграммы взаимодействия (диаграммы последовательности, диаграммы кооперации), диаграммы реализации (диаграммы компонентов).

На рынке программных средств моделирования, поддерживающих объектно-ориентированный подход в моделировании сложных систем и визуализирующих сам процесс, особое место занимает семейство CASE-средств проектирования и программирования Rational Rose фирмы Rational Software Corp [8]. Именно этот программный продукт позволит реализовать проект модели – основы разработки информационной системы радиационного мониторинга персонала.

Визуальное моделирование в UML можно представить, как некоторый процесс поуровневого спуска от наиболее общей и абстрактной концептуальной модели исходной системы к логической, а затем к физической модели соответствующей программной системы.

Для отображения функционирования проектируемой системы и ее взаимодействия с внешним миром пользователя используется исходное концептуальное представление, т.е. диаграмма вариантов использования (рис. 1).

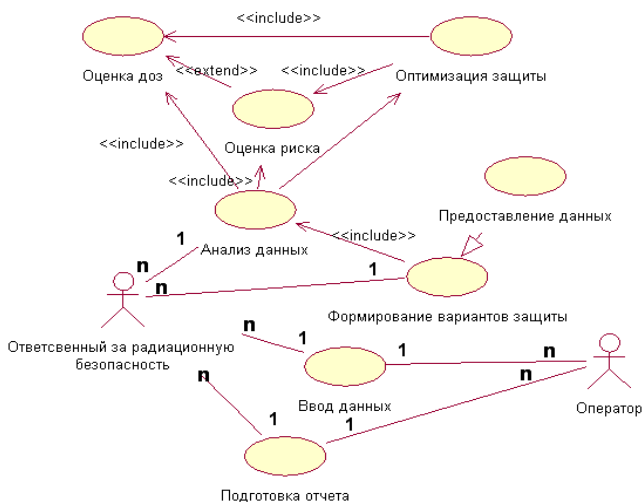


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования системы

Прецеденты, представленные на диаграмме вариантов использования, полностью соответствуют реализации стоящих перед разрабатываемой информационной системой задач.

В качестве объектов в процессе моделирования системы радиационного мониторинга персонала можно определить следующие общие сущности: радионуклиды, тип облучения, вид мониторинга, оборудование, вид пробы, работник, должность, статус, организация. Их свойства и отношения определяют концептуальную модель данных, обеспечивающих работу информационной системы. Модель представлена на диаграмме "сущность-связь" (рис. 2).

Концептуальная модель данных служит основанием для выбора реляционной базы данных, которая обеспечит эффективную работу информационной системы радиационного мониторинга персонала.

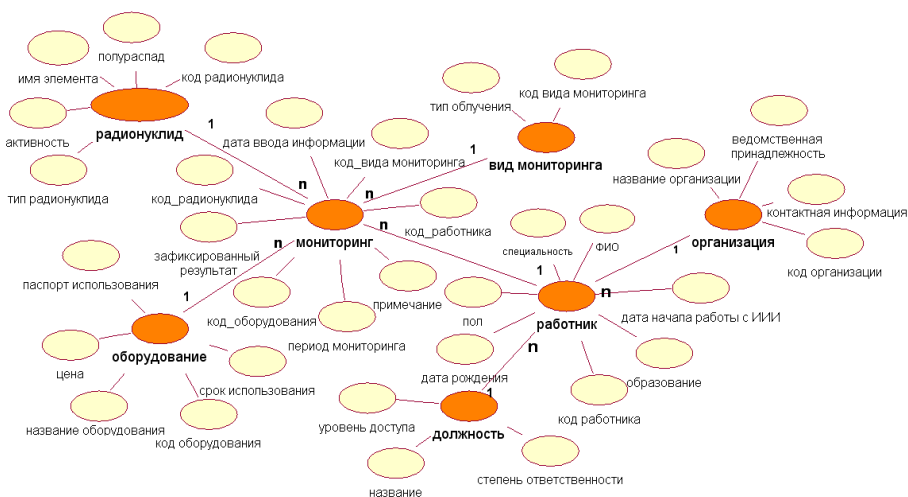


Рис. 2. Диаграмма "сущность-связь" системы

Для дальнейшего развития концептуальной модели проектируемой системы необходимо определить статическую модель, которая реализуется путем создания диаграммы классов.

Диаграмма классов состоит из множества элементов, которые в совокупности отражают декларативные знания о предметной области.

Работа пользователя с системой предполагает наличие интерфейса и реализацию запросов к базе данных. Определим основные классы, обеспечивающие функциональные возможности системы по обеспечению интерфейса с пользователями системы. В качестве основного класса используем базовый класс Form, представляющий собой экранную форму и

предоставляющий возможность использования стандартных элементов управления среды программирования для взаимодействия с данными базы данных (рис. 3).

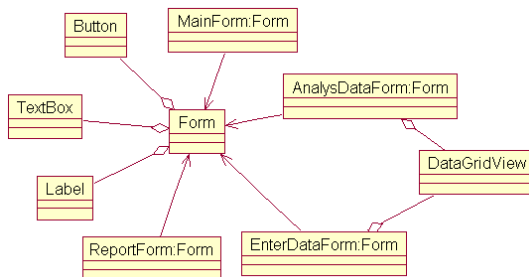


Рис. 3. Диаграмма классов системы

Функциональные возможности системы по подсчету оценки дозы облучения и связанного с полученной дозой индивидуального риска здоровью работника, по сравнению полученных величин доз и рисков с установленными граничными уровнями для персонала, по проведению анализа вариантов защиты для снижения доз и рисков с помощью оптимизационных моделей будут реализованы в программных модулях Dose, Risk, Optimization, Report. Каждый из разрабатываемых классов обладает собственным набором входных и выходных параметров.

Построенные диаграммы отражают концептуальные аспекты модели системы и относятся к логическому уровню представления, особенность которого заключается в том, что оно оперирует понятиями, которые не имеют самостоятельного материального воплощения. Для создания конкретной физической системы необходимо реализовать все элементы логического представления в конкретные материальные сущности. В языке унифицированного моделирования UML для физического представления моделей систем используются диаграммы реализации, которые включают в себя две отдельные канонические диаграммы: диаграмму компонентов и диаграмму развертывания. В нашем случае, диаграммой, необходимой и достаточной для визуализации физического представления модели системы, является диаграмма компонентов.

Диаграмма компонентов описывает особенности физического представления системы и позволяет определить архитектуру разрабатываемой системы, установив зависимости между программными компонентами, в роли которых может выступать исходный, бинарный и исполняемый код. Одной из необходимых компонент модели системы в диаграмме указана база данных, обеспечивающая возможность сбора, хранения, просмотра и передачи данных (рис. 4).

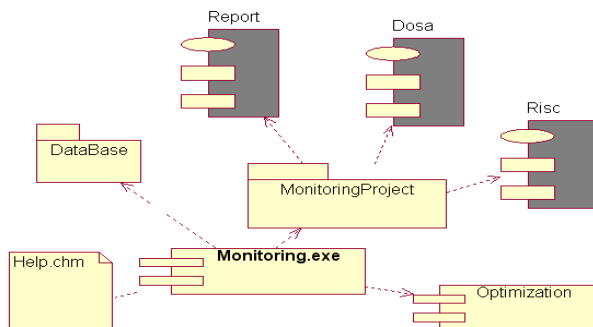


Рис. 4. Диаграмма компонентов системы

Задача оценки дозы облучения и связанного с дозой индивидуального риска здоровью работника по заданным математическим моделям и сравнение полученных результатов с граничными значениями требует наличия исполняемого модуля, обеспечивающего выполнение расчетов. Проведение анализа вариантов защиты для снижения доз и рисков с помощью оптимизационных моделей также требует создания исполняемого модуля, реализующего процесс оптимизации.

Выводы. Результатом проделанной работы является концептуальная модель системы радиационного мониторинга для персонала, выполненная в CASE-среде Rational Rose с использованием нотаций унифицированного языка моделирования. Проект модели, представляющий совокупность UML диаграмм и документирующий процесс моделирования, будет служить основой для создания базы данных и программного кода информационной системы мониторинга.

Достоинствами проекта модели, выполненного в рамках объектно-ориентированной технологии, являются: декомпозиция сложной системы, что упрощает реализацию системы мониторинга, включая этапы корректировки и редактирования как архитектуры самой системы, так и программного кода; визуализация процесса моделирования, что делает возможным анализ и обсуждение промежуточных результатов разработки; документирование проекта модели в виде совокупности графических примитивов, соответствующих реально существующим объектам, что делает систему более доступной анализу и корректировке.

Список литературы: 1. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication; ed. J. Valentin. – Oxford: Elsevier, 2007. – № 103. – P. 332. 2. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности / МАГАТЭ. – Вена: Изд. МАГАТЭ, 2007 – 303 с. 3. Радиационная защита при профессиональном облучении / Руководство по безопасности МАГАТЭ. – Вена: Изд. МАГАТЭ, 1999. – № RS-G-1.1. – 77 с. 4. Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала / Серия докладов по безопасности МАГАТЭ. – Вена: МАГАТЭ, 2003. – № 21. – P. 81. 5. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с

примерами приложений / Г. Буч. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2008. – 720 с. **6. Фаулер М.** UML. Основы. Краткое руководство по унифицированному языку моделирования / М. Фаулер, К. Скотт. – М.: Изд. "Символ-Плюс", 2002. – 192 с. **7. Боггс У.** UML и Rational Rose® 2002 / У. Боггс, М. Боггс. – М.: Изд. "ЛОРИ", 2004. – 509 с. **8. Вендров А.М.** CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А.М. Вендров. – М.: "Финансы и статистика", 1998. – 176 с.

Статья представлена д.т.н. доц. ОИЭЯИ-"Сосны" НАН Беларуси Трифоновым А.Г.

Моделювання системи радіаційного моніторингу для персоналу промислових об'єктів / Ю.Є. Крюк, І.Є. Кунець // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 119 – 126.

Розглянута необхідність автоматизації проведення радіаційного моніторингу. Визначені вимоги до інформаційної системи радіаційного моніторингу. З використанням об'єктно-орієнтованого аналізу проведено моделювання системи. Виконана візуалізація моделі системи в нотаціях UML. Іл.: 4. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: радіаційний моніторинг, моделювання, інформаційна система, нотації.

System simulation for radiation monitoring of industrial plants personnel / Kruk Y.E., Kunec I.E // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 119 – 126.

The need of the radiation monitoring process automatization is considered. The requirements for the information system of radiation monitoring are defined. The modeling of information system with the using of object-oriented analysis system is provided. Visualization of the system model is performed with UML notation. Figs.: 4. Refs.: 8 titles.

Keywords: radiation monitoring, information system, modeling, notation.

Поступила в редакцию 10.05.2010

А.И. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Н.А. ЧИКИНА, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
И.В. АНТОНОВА, аспирантка НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

НЕЧЕТКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗА РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Предложен метод идентификации состояния здоровья на основе выявленных внешних и внутренних факторов риска в условиях вредного производства. Разработана модель нечеткой экспертной системы по прогнозу уровня риска развития профессионально обусловленных аллергодерматозов и определены функциональные характеристики ее модулей. Проведено компьютерное моделирование в среде MatLab. Ил.: 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: идентификация состояния, нечеткая экспертная система, прогноз риска развития, компьютерное моделирование.

Постановка проблемы. За последние 20 – 30 лет существенно изменилась социальная и производственная среда, что обусловило увеличение числа рисков возникновения профессионально обусловленных заболеваний (ПОЗ). На предприятиях химико-фармацевтической промышленности к профессиональным рискам относится воздействие активных химических веществ, вызывающих различные заболевания аллергического генеза. Поэтому актуальной является разработка системы прогноза риска развития ПОЗ у рабочих и служащих предприятия с вредными условиями производства.

В ходе исследований, проводимых в рамках научно-исследовательских работ Харьковского НИИ Дерматологии и Венерологии совместно с НТУ "ХПИ" на предприятиях химико-фармацевтической промышленности авторами кроме профессиональных рисков были выявлены групповые и внутренние факторы риска развития ПОЗ [1 – 3]. Наличие таких факторов риска дает возможность построить экспертную систему прогноза риска развития ПОЗ.

Анализ литературы. Появление и совершенствование автоматизированных систем для массовых обследований населения нельзя рассматривать в отрыве от процессов, связанных с проникновением компьютера во врачебное мышление. Если в начале развития медицинской кибернетики речь шла о создании экспертных систем для дифференциальной диагностики заболеваний с похожей симптоматикой, то в последние годы ставится задача создания автоматизированных информационных систем – советчиков врача [4].

Общепринятая классификация ЭС отсутствует, однако наиболее часто ЭС различают по назначению, предметной области, методам представления знаний, динамичности и сложности [5].

Человек способен принимать практически полезные решения в условиях неполной и неопределенной (нечеткой) информации. Поэтому построение моделей, использующих рассуждения человека и применение их в компьютерных системах представляет собой одну из важнейших научно-технических проблем. При количественном описании и построении моделей биологических объектов и систем решения конкретных прикладных задач целесообразно, а в ряде случаев – и необходимо, использовать указанную способность человеческого интеллекта с тем, чтобы адекватно учесть специфику биообъектов. Мощным инструментом совместного решения этих проблем является математический аппарат нечеткой логики, основы которого были предложены Л. Заде еще в 1965 г. [6]. Это подтолкнуло исследователей к созданию нечетких ЭС.

Логико-лингвистические методы описания нечетких систем основаны на том, что поведение исследуемой системы описывается в естественном (или близком к естественному) языке в терминах лингвистических переменных [7]. Входные и выходные параметры системы являются лингвистическими переменными, а качественное описание процесса задается совокупностью простейших правил вида:

$$L_j : \text{если } \tilde{A}_j, \text{ то } \tilde{B}_j, (j = \overline{1, k_0}),$$

где $\tilde{A}_j$ и $\tilde{B}_j$ – нечеткие подмножества, заданные на декартовом произведении универсальных множеств входных и выходных лингвистических переменных соответственно. Кроме того, в основе нечетких ЭС лежит принцип вычисления суперпозиции многих влияний на окончательный результат (композиционное правило Заде), что позволяет учесть совместное влияние целого ряда факторов в решении задачи прогноза риска развития ПОЗ.

Целью статьи является описание структуры и принципов работы нечеткой ЭС прогноза уровня риска развития профессионально обусловленных аллергодерматозов у рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности.

Основная часть. Рассматриваемая нечеткая ЭС проектируется на основе выявленных в ходе предыдущих исследований факторов риска [1 – 3]. В качестве экспертов при создании нечеткой базы знаний были привлечены руководители и ответственные исполнители НИР ХНИИДиВ и НТУ "ХПИ".

Пусть для описания множества Ω , состоящего из m объектов, используется n признаков (выявленных факторов риска): $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$. Каждому объекту из множества Ω соответствует некоторое значение целевого признака X_0 . Признаки X_i ($i = \overline{0, n}$) измерены в порядковой или номинальной шкале. Целевой признак X_0 имеет k_0 градаций, т. е. принимает k_0 различных значений.

Для всех градаций признаков X_i ($i = \overline{1, n}$) построены функции принадлежности $\mu^{jp}(X_i)$ входного признака X_i нечеткому терму X_i^{jp} .

На основе результатов предыдущих исследований был синтезирован набор k_0 правил вида:

$$L_j: \text{ЕСЛИ } (X_1 = X_1^{j1}) \text{ И } (X_2 = X_2^{j1}) \text{ И } \dots \text{ И } (X_n = X_n^{j1}) \text{ (с весом } \omega_{j1})$$

ИЛИ $(X_1 = X_1^{j_2})$ И $(X_2 = X_2^{j_2})$ И ... И $(X_n = X_n^{j_2})$ (с весом ω_{j_2})

ИЛИ $(X_1 = X_1^{jqj})$ И $(X_2 = X_2^{jqj})$ И ... И $(X_n = X_n^{jqj})$ (с весом ω_{jqj}),

TO $X_0 = X_0^j$,

где L_j – решающее правило с номером j ($j = \overline{1, k_0}$); X_i^{jp} – градация входной переменной X_i в правиле с номером jp ($j = \overline{1, k_0}, p = \overline{1, q_j}$); q_j – количество правил, в которых выход X_0 оценивается термом X_0^j . На основе базы нечетких правил L_j ($j = \overline{1, k_0}$) была получена модель Мамдани нечеткого логического вывода для прогноза риска развития ПОЗ.

Согласно [8] лингвистическая переменная описывается набором $\{X, T(X), U, G, M\}$, в котором X – название этой переменной; $T(X)$ – термножество X , т.е. совокупность ее лингвистических значений; U – универсальное множество; G – синтаксическое правило, порождающее термы множества $T(X)$; M – семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G .

В процессе структурной идентификации модели для каждой переменной X_i ($i = \overline{0, n}$) задавалось ее имя, терм-множества (градации) T_i , универсальное множество U_i .

Приведем в качестве примера некоторые терм-множества входных переменных (факторов риска) и их множества значений:

$$X_1 = \text{"Уровень адаптации"}: \quad T_1 = \{\text{"низкий"}, \quad \text{"средний"}, \quad \text{"высокий"}\}, \\ U_1 \in [0; 1];$$
$$X_2 = \text{"Стаж работы на предприятии"}: T_2 = \{\text{"небольшой"}, \text{"средний"}, \text{"большой"}\}, U_2 \in [0; 40];$$
$$X_3 = \text{"Возраст"}: T_3 = \{\text{"молодой"}, \text{"средний"}, \text{"старший"}\}, U_3 \in [20; 60];$$

X_4 = "Наличие контакта с лекарственными препаратами по месту работы": $T_4 = \{\text{"нет"}, \text{"отчасти"}, \text{"есть"}\}$, $U_4 \in [0; 1]$;

X_5 = "Обобщенный внутренний фактор риска": $T_5 = \{ \text{"слабый"}, \text{"повышенный"}, \text{"высокий"} \}$, $U_5 \in [0; 1]$.

Для выходной переменной: X_0 = "Уровень риска развития ПОЗ": $T_0 = \{ \text{"есть"}, \text{"повышенный"}, \text{"высокий"} \}$, $U_0 \in [0; 1]$.

Метод, по которому авторы определяли индивидуальный уровень обобщенного влияния внутренних факторов риска развития ПОЗ, был назван обобщённым фактором риска и описан в [9].

На основе этих данных строились соответствующие функции принадлежности $\mu^{jp}(X_i)$. График функции принадлежности фактора риска X_2 = "Стаж работы на предприятии" представлен на рис. 1.

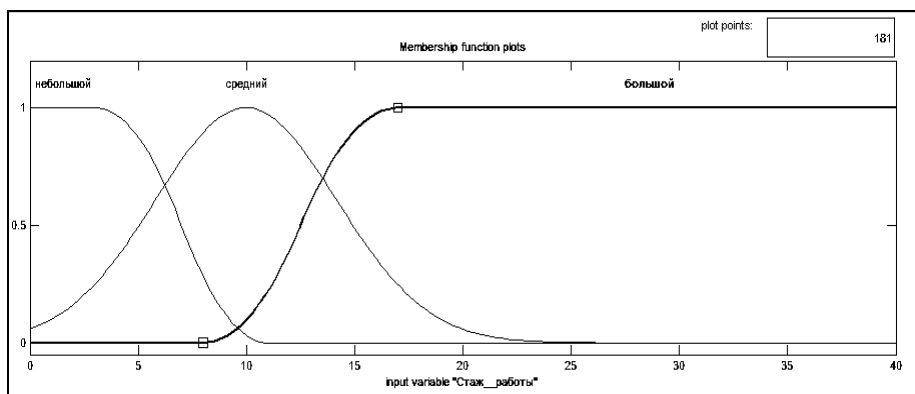


Рис. 1. Функции принадлежности факторов риска X_2 = "Стаж работы на предприятии".

Правило нечеткого вывода, соответствующее, например, повышенному риску развития ПОЗ имеет вид:

ЕСЛИ (X_1 = "низкий") (с весом 0,6) ИЛИ (X_2 = "средний") (с весом 1)
ИЛИ (X_3 = "средний") (с весом 0,7) ИЛИ (X_4 = "есть") (с весом 0,8)
ИЛИ (X_5 = "высокий") (с весом 0,6), ТО X_0 = "высокий".

Согласно механизму Мамдани (Mamdani) нечеткий вывод в ЭС осуществляется следующим образом:

1. На этапе фаззификации определяются степени истинности, т.е. значения функций принадлежности $\mu^{jp}(X_i)$ ($j = \overline{1, k_0}$, $p = \overline{1, q_j}$, $i = \overline{1, n}$) для левой части правила L_j (состоящей из jp подправил).

2. Для текущих входных значений $\vec{X}_0 = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$ минимаксным методом определяется степень истинности целевого признака, т.е.:

$\mu_0^j(\vec{X}^*) = \bigvee_{p=1, q_j} (\omega_{jp} \bigwedge_{i=1, n} \mu^{ip}(X_i^*)), \quad j = \overline{1, k_0},$ где $\vee(\wedge)$ – операция s -нормы (t -нормы).

3. На этапе дефаззификации четкое значение целевого признака X_0 , соответствующее входному вектору $\vec{X}_0 = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$, определяется методом центра тяжести.

Проверка адекватности модели нечеткой ЭС проводилась средствами пакета Fuzzy Logic среды MatLab на случайно сформированной выборке из имеющейся базы, содержащей информацию о 430 обследованных рабочих профильных предприятий. В выборку вошли представители каждой из групп риска в одинаковых пропорциях (всего 150 обследованных). Результаты проверки представлены на рис. 2.

Из рисунка видно, что проведенная апробация позволяет выделить три нечетких состояния обследованных в зависимости от наличия (отсутствия) тех или иных факторов риска, а именно S_1 ("есть риск развития ПОЗ"), S_2 ("повышенный риск развития ПОЗ") и S_3 ("высокий риск развития ПОЗ"). Для повышения качества распознавания ЭС предполагается в дальнейшем провести ее оптимизацию.

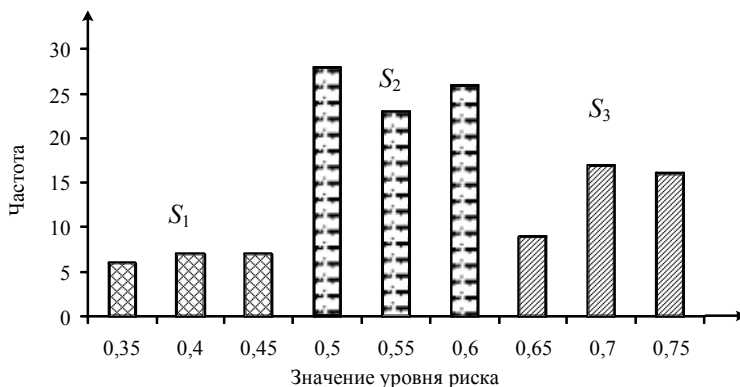


Рис. 2. Распределение объектов тестовой выборки по признаку "Риск развития ПОЗ"

Выводы. Разработана модель нечеткой ЭС по прогнозу уровня риска развития профессионально обусловленных аллергодерматозов и определены функциональные характеристики ее модулей. Проведенное моделирование в среде MatLab показало, что нечеткость в исходных данных не является препятствием для идентификации состояния обследуемых. Оптимизацию разработанной модели ЭС предполагается осуществить путем ее параметрической идентификации по обучающей выборке. Результаты работы данной ЭС могут быть использованы на предприятии химико-фармацевтической промышленности при проведении профилактических

медицинских осмотров в качестве рекомендаций по мерам профилактики профзаболевания.

Список литературы: 1. *Чикина Н.А.* Изучение влияния внутренних факторов риска на развитие аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий / *Н.А. Чикина, И.В. Антонова* // Тр. Международной науч.-техн. конф. "MicroCAD – 2007". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – Ч. 8. – С. 195–200. 2. *Чикина Н.А.* Идентификация состояния здоровья на основе анализа типов реакции адаптации у рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности / *Н.А. Чикина, И.В. Антонова* // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков, НТУ "ХПИ". – 2008. – № 24. – С. 178–184. 3. *Чикина Н.А.* Математические модели адаптации к вредным условиям труда на основе метода корреляционной адаптометрии / *Н.А. Чикина, И.В. Антонова* // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков, НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 184–189. 4. *Баевский Р.М.* Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний / *Р.М. Баевский, А.П. Берсенева*. – М.: Медицина, 1997. – 60 с. 5. *Джарратано Д.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование / *Д. Джарратано, Г. Райли*. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1152 с. 6. *Zadeh L.A.* Fuzzy sets / *L.A. Zadeh* // Information and Control, 1965. – № 8 (3). – P. 338–353. 7. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / *С.Д. Штовба*. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с. 8. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / *Л.А. Заде*. – М.: Мир, 1976. – 165 с. 9. *Поворознюк А.И.* Прогноз развития профессионально обусловленных заболеваний с помощью дискриминантного анализа / *А.И. Поворознюк, Н.А. Чикина, Ю.Л. Геворкян, И.В. Антонова* // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць ХУПС. – Харків, 2010. – Випуск 1 (82). – С. 200–203.

Статья представлена д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Пиротти Е.Л.

UDC 681.518

Нечітка експертна система прогнозу ризику розвитку професійно обумовлених захворювань / Поворознюк А.І., Чікіна Н.О., Антонова І.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 127 – 132.

Запропоновано метод ідентифікації стану здоров'я на основі виявлених зовнішніх і внутрішніх чинників ризику в умовах шкідливого виробництва. Розроблено модель нечіткої експертної системи прогнозу рівня ризику розвитку професійно обумовлених алергодерматозів і визначені функціональні характеристики її модулів. Проведено комп'ютерне моделювання в середовищі MatLab. Іл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: ідентифікація стану, нечітка експертна система, прогноз ризику розвитку, комп'ютерне моделювання.

UDC 681.518

Fuzzy expert system risk prognosis of development the professionally conditioned diseases / Povoroznyuk A.I., Chikina N.A., Antonova I.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 127 – 132.

The method of identification of the health state is offered on the basis of the indicated external and internal risk factors in the conditions of harmful production. The model of fuzzy expert system of risk prognosis of development of the professionally conditioned allergodermatoses is worked out and functional descriptions of its modules are determined. A computer modeling is conducted in the MatLab environment. Figs.: 2. Refs.: 9 titles.

Keywords: identification of the health state, fuzzy expert system, risk prognosis of development, computer modeling.

Поступила в редакцию 20.04.2010

П.Г. ПОЛЬКО, аспирант, каф. ВТ и ПМ, ГОУ ВПО "МГТУ
им. Г.И. Носова" (г. Магнитогорск),

О.С. ЛОГУНОВА, д-р техн. наук, проф. ВТ и ПМ, ГОУ ВПО "МГТУ
им. Г.И. Носова" (г. Магнитогорск)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВЫХ КОНТУРОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ¹

Приведены результаты имитационного моделирования цифрового инерционного контура стабилизации с запаздыванием параметра технологического процесса, синтезированного с использованием нечетких множеств и нечетких логических выводов, способного эффективно функционировать в условиях неполной информации об управляемом параметре. Показаны преимущества нечеткого управления, использующего упрощенные математические модели технологических объектов управления. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: имитационное моделирование, контур стабилизации, нечеткие множества, нечеткое управление.

Постановка проблемы. Проблема автоматической стабилизации параметров технологических процессов является актуальной для сложных систем, в которых параметры не являются четко определенными. К таким системам можно отнести АСУ ТП измельчения рудного материала [1 – 5]. Основными проблемами этого технологического процесса являются: высокие энергозатраты на работу электродвигателей, высокие затраты водных ресурсов при мокром измельчении, низкая эффективность дробильных агрегатов.

Анализ литературы. В [7 – 10] указываются основные направления развития систем управления технологией дробления и измельчения рудных материалов, которые позволяют оперировать косвенными параметрами процесса, такими как шум, вибрация, расход воды и т.п. При этом не рассматривается возможность строить и стабилизировать контур параметров прямого управления количеством входного материала в автоматическом режиме. Кроме того, известные математические модели стохастических процессов измельчения и классификации в гидроциклонах в значительной степени не обладают достаточной информативностью для синтеза эффективных систем автоматического управления, способных функционировать без вмешательства технологов – операторов.

Цель статьи – синтез цифрового контура автоматической стабилизации технологических параметров с применением исполнительных механизмов постоянной скорости. В работе приведены некоторые результаты по синтезу и

¹ Работа выполнена в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" 2009 – 2013 гг.

исследованию программно реализованной системы нечеткого управления подачей исходного рудного материала в агрегат предварительного мокрого измельчения барабанного типа, работающий в открытом режиме. Задачей системы является обеспечение стабильной работы измельчительного агрегата в условиях неполной информации об управляемом процессе.

Имитационная модель цифрового контура автоматической стабилизации

Структурная схема синтезируемой замкнутой системы нечеткого управления технологическим параметром представлена на рис. 1. Динамические свойства управляемого технологического параметра аппроксимируются последовательным соединением статического звена с характеристикой $F(X_{BX})$ и двух инерционных звеньев первого порядка с постоянными времени T_{OB} и τ_3 , где T_{OB} – характеризует инерционные, τ_3 – запаздывающие свойства процесса измельчения.

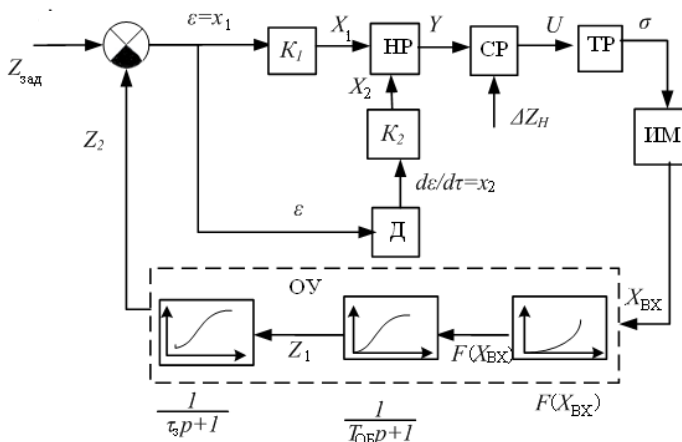


Рис. 1. Структурная схема синтезируемой замкнутой системы нечеткого управления инерционным с запаздыванием технологическим параметром

Правомерность замены передаточной функции звена запаздывания передаточной функцией инерционного звена обеспечивается соблюдением условия $T_{OB} \gg \tau_3$ [6].

Характеристика статического звена (в реальных условиях неизвестна) определяется по экспериментальным данным полиномом $F(X_{BX})$ следующего вида:

$$F(X_{BX}) = a_0 + a_1 \cdot X_{BX} + a_2 \cdot X_{BX}^2 + \dots + a_n \cdot X_{BX}^n, \quad (1)$$

где a_i при $i \in N$ – коэффициенты уравнения, определяемые с помощью метода наименьших квадратов по экспериментальным данным; X_{BX} – входное управляющее воздействие, определяемое перемещением исполнительного

механизма с постоянной скоростью в процессе управления путем изменения скорости транспортного питателя частотным преобразователем.

Траектория изменения во времени параметра Z_1 определяется из решения уравнения (2) с использованием численного метода Эйлера:

$$T_{\text{Об}} \frac{dZ_1}{d\tau} + Z_1(\tau) = F(X(\tau)), \quad (2)$$

где τ – текущее время.

Изменение выходного управляемого параметра во времени $Z_2(\tau)$ определяется аналогично из решения уравнения (3):

$$\tau_3 \frac{dZ_2}{d\tau} + Z_2(\tau) = Z_1(\tau). \quad (3)$$

На вход замкнутой системы нечеткого регулирования питания измельчительного агрегата поступает сигнал задания $Z_{\text{зад}}(\tau)$. Этот сигнал на элементе сравнения сравнивается с текущим значением регулируемого параметра $Z_2(\tau)$.

Полученный сигнал рассогласования $\varepsilon(\tau) = Z_{\text{зад}}(\tau) - Z_2(\tau)$ поступает одновременно на вход дифференцирующего звена Д и, после масштабирования в блоке K_1 , на вход нечеткого регулятора НР.

Сигнал рассогласования $\varepsilon(\tau)$ дифференцируется в звене Д, полученный сигнал $d\varepsilon/d\tau$ с выхода Д поступает на вход масштабирующего блока K_2 и с его выхода подается на вход блока НР.

Коэффициенты K_1 и K_2 необходимы для преобразования физических входных сигналов нечеткого регулятора. Эти параметры являются определяющими при синтезе нечеткого регулятора.

На выходе программно реализуемого нечеткого регулятора НР формируется нормированный управляющий сигнал $Y(\tau)$, который поступает на вход логического сигнум-реле (СР), где сравнивается с заданной величиной зоны нечувствительности ΔZ_H системы нечеткого управления.

На выходе СР формируется управляющий импульс $U(\tau) \in \{-1; 0; +1\}$, который с использованием программного блока триггер-реверса (ТР) обеспечивает формирование текущего значения переключающей функции $\sigma(\tau)$, определяющей текущее состояние перемещения исполнительного механизма в соответствии с условием (4):

$$U(\tau) = \begin{cases} +1, & \text{если } Y \geq \frac{\Delta Z_H}{2}, \\ 0, & \text{если } -\frac{\Delta Z_H}{2} < Y < \frac{\Delta Z_H}{2}, \\ -1, & \text{если } Y \leq -\frac{\Delta Z_H}{2}. \end{cases} \quad (4)$$

Для $\sigma(\tau)$ получим

$$\sigma(\tau + 1) = \begin{cases} \sigma(\tau), & \text{если } U(\tau) = 1, \\ 0, & \text{если } U(\tau) = 0, \\ -\sigma(\tau), & \text{если } U(\tau) = -1. \end{cases}$$

Это означает, что при $U(\tau) = +1$ выбранное в текущий момент времени τ направление движения исполнительного механизма (изменения текущего значения $X_{\text{ВХ}}(\tau)$) сохраняется и на последующий $\tau+1$ момент времени.

При $U(\tau) = 0$ в последующий момент времени $\tau+1$ необходимо остановить исполнительный механизм, то есть принять $X_{\text{ВХ}}(\tau) = \text{const}$.

При $U(\tau) = -1$ выбранное на предыдущем интервале времени направление перемещения исполнительного механизма в последующий момент времени $\tau + 1$ необходимо изменить на противоположное (произвести реверс ИМ).

При использовании исполнительного механизма постоянной скорости изменение управляющего воздействия определяется выражением (5):

$$X_{\text{ВХ}}(\tau) = X_{\text{Н}} + \sigma(\tau) \cdot \bar{K}_{\text{ИМ}} \cdot \tau, \quad (5)$$

где $X_{\text{Н}}$ – начальное значение $X_{\text{ВХ}}(\tau = 0)$; $\bar{K}_{\text{ИМ}}$ – постоянная средняя скорость движения исполнительного механизма.

В рассматриваемой системе нечеткий регулятор (НР) формирует управляющий сигнал $Y(\tau)$ в соответствии с принципом нечеткой логики.

Входные нормированные сигналы нечеткого регулятора обозначим как X_1 и X_2 , а нормированный выходной сигнал как $Y(\tau)$.

Введем лингвистические переменные: X_1 – "Рассогласование"; X_2 – "Скорость рассогласования"; Y – "Нормированный управляющий сигнал", где $X_1 = x_1/K_1$; $X_2 = x_2/K_2$, x_1 и x_2 – физические текущие величины входных параметров.

В области определения текущего нормированного сигнала рассогласования введем пять нечетких множеств, определяющих значения лингвистической переменной X_1 соответствующими функциями принадлежности:

$$\{ A_1^{X_1} = \text{"Положительное большое"}; A_2^{X_1} = \text{"Положительное малое"};$$

$$A_3^{X_1} = \text{"Нулевое"}; A_4^{X_1} = \text{"Отрицательное малое"};$$

$$A_5^{X_1} = \text{"Отрицательное большое"} \}.$$

Аналогично определим функции принадлежности для значений лингвистической переменной X_2 :

$$\{ A_1^{X_2} = \text{"Положительное большое"}; A_2^{X_2} = \text{"Положительное малое"};$$

$$A_3^{X_2} = \text{"Нулевое"}; A_4^{X_2} = \text{"Отрицательное малое"};$$

$$A_5^{X_2} = \text{"Отрицательное большое"} \}.$$

Графически функции принадлежности нечетких множеств $\mu(X)$ и значения их параметров $A_i^{X_1}$ и $A_i^{X_2}$, где $i=\overline{1,5}$ в зависимости от величин нормированных входных переменных X_1 и X_2 представлены на рис. 2.

Нечеткие множества значений выходной лингвистической переменной Y определены функциями принадлежности:

$$\begin{aligned} \{B_1 = \text{"Положительное большое"}; B_2 = \text{"Положительное малое"}; \\ B_3 = \text{"Нулевое"}; B_4 = \text{"Отрицательное малое"}; \\ B_5 = \text{"Отрицательное большое"}\} \end{aligned}$$

и представлены в виде функции (6):

$$\mu^Y(x) = \delta(x-b) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = b; \\ 0, & \text{если } x \neq b, \end{cases} \quad (6)$$

где значения параметра b для каждого значения выходной лингвистической переменной представлены в виде вектора $b = (1; 0,5; 0; -0,5; -1)^T$.

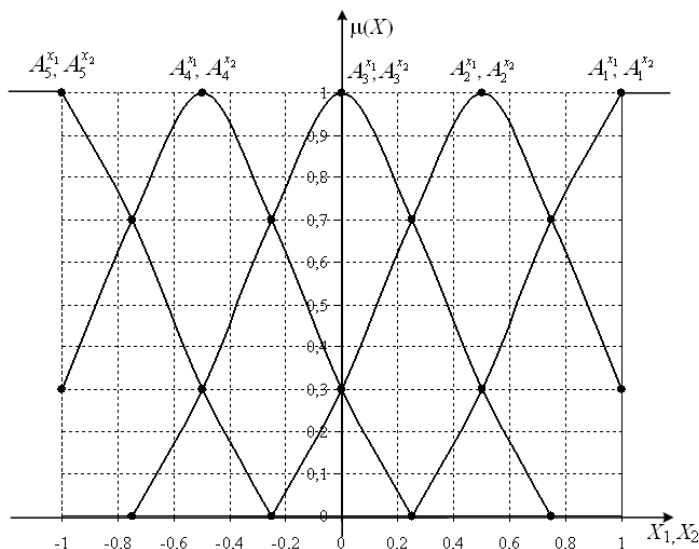


Рис. 2. Функции принадлежности нечетких множеств $\mu(X)$ для входных переменных X_1 и X_2

Для организации режима нечеткого управления при формировании правил используется основное эвристическое правило: "Если наблюдается рассогласование между текущими действительным и заданным значениями регулируемого параметра, тогда необходимо сформировать управляющее воздействие, обеспечивающее уменьшение текущего значения рассогласования".

Функционирование программно реализованного синтезируемого нечеткого регулятора определяется следующей базой правил (7):

$$\begin{aligned}
 R_1 : (X_1 = A_5^{x_1}) \wedge (X_2 = A_3^{x_2}) \rightarrow Y = B_5 ; \quad R_2 : (X_1 = A_1^{x_1}) \wedge (X_2 = A_3^{x_2}) \rightarrow Y = B_1 ; \\
 R_3 : (X_1 = A_4^{x_1}) \wedge (X_2 = A_3^{x_2}) \rightarrow Y = B_4 ; \quad R_4 : (X_1 = A_2^{x_1}) \wedge (X_2 = A_3^{x_2}) \rightarrow Y = B_2 ; \\
 R_5 : (X_1 = A_4^{x_1}) \wedge (X_2 = A_4^{x_2}) \rightarrow Y = B_5 ; \quad R_6 : (X_1 = A_2^{x_1}) \wedge (X_2 = A_2^{x_2}) \rightarrow Y = B_1 ; \quad (7) \\
 R_7 : (X_1 = A_4^{x_1}) \wedge (X_2 = A_2^{x_2}) \rightarrow Y = B_3 ; \quad R_8 : (X_1 = A_2^{x_1}) \wedge (X_2 = A_4^{x_2}) \rightarrow Y = B_3 ; \\
 R_9 : (X_1 = A_3^{x_1}) \wedge (X_2 = A_4^{x_2}) \rightarrow Y = B_4 ; \quad R_{10} : (X_1 = A_3^{x_1}) \wedge (X_2 = A_2^{x_2}) \rightarrow Y = B_2 ; \\
 R_{11} : (X_1 = A_3^{x_1}) \wedge (X_2 = A_3^{x_2}) \rightarrow Y = B_3 .
 \end{aligned}$$

Каждое правило логически объясняет реальную ситуацию и рекомендует соответствующее действие при управлении.

Так, например, эвристическое правило R_1 можно сформулировать следующим образом: "Если скорость изменения рассогласования близка к нулю ($A_3^{x_1}$ = "Нулевое") и возникло большое отрицательное рассогласование за счет уменьшения заданного значения регулируемого параметра ($A_5^{x_1}$ = "Отрицательное большое"), то на выходе нечеткого регулятора формируется сигнал, пропорциональный максимальному перемещению исполнительного механизма, обеспечивающему уменьшение регулируемого параметра (B_5 = "Отрицательное большое") для устранения сигнала рассогласования.

При нечетком управлении база правил (7) представляет некоторую лингвистическую модель процесса управления, являясь качественной атрибутивной моделью, отражающей логику работы технолога-эксперта.

Оценка адекватности имитационной модели цифрового контура автоматической стабилизации. Адекватность поведения нечеткого регулятора исследовалась на компьютеризированном стенде при математическом моделировании процесса стабилизации регулируемого параметра в ходе вычислительного эксперимента. Статические и динамические свойства стабилизируемого параметра определены заданной статической характеристикой и двумя инерционными звеньями первого порядка с постоянными времени $T_{об} = T_1 = 200$ с и $\tau_3 = T_2 = 20$ с.

Скорость исполнительного механизма составляет 0,2 % хода/с. Зона нечувствительности сигнум-реле принята равной $\Delta Z_1 = 0,02$ кг/мин.

Уравнение статической характеристики объекта управления имеет вид:

$$F(X_{BX}) = 0,27 X_{BX}^2 + 4,02 X_{BX} + 356,7, \quad (8)$$

где $X_{BX} \in (0; 100\% \text{ хода})$ – управляющее воздействие, % хода (положение выходного вала исполнительного механизма).

Поскольку значения лингвистических переменных X_1 и X_2 на предметной области их определения (см. рис. 2) должны быть в диапазоне значений $[-1; 1]$, то вначале необходимо нормировать входные сигналы нечеткого регулятора, то есть подобрать пределы масштабирования текущих значений сигнала рассогласования и скорости изменения сигнала рассогласования.

Правильный выбор нормирующих коэффициентов является одной из основных проблем при синтезе нечетких регуляторов.

При управлении стабилизируемыми параметрами технологического процесса основное внимание необходимо обращать на инерционные свойства автоматизируемого объекта управления и на соответствие динамическим свойствам объекта управления скорости изменения управляющего параметра (скорости движения ИМ). Нужно обеспечить необходимое соответствие скорости изменения регулируемого параметра и выбранной скорости исполнительного механизма.

Экспериментально было установлено, что между величиной коэффициента K_1 , нормирующего сигнал рассогласования, и скоростью ИМ существует линейная зависимость (9):

$$K_1 = A \cdot \bar{K}_{\text{ИМ}}, \quad (9)$$

где A – экспериментально подобранное значение параметра настройки нечеткого регулятора.

Для определения рационального значения параметра настройки нечеткого регулятора A при масштабировании сигнала рассогласования было проведено экспериментальное исследование переходных процессов в контуре нечеткого управления, в процессе которых при различных величинах масштабного параметра A оценивались показатели качества переходных процессов [6]:

- первое время регулирования τ_{p1} , характеризующее оперативность управления;
- второе время регулирования τ_{p2} , характеризующее продолжительность переходного процесса;
- максимальное значение перерегулирования σ , % от величины возмущения по заданию.

Полученные величины показателей качества переходных процессов при различных значениях параметра A при $K_{\text{ИМ}} = 0,2$ % хода/с и при постоянном однократном изменении $Z_{\text{ЗЛД}}(\tau)$ приведены в табл.

Анализ полученных результатов показывает, что при увеличении масштабного параметра A первое время τ_{p1} в переходном процессе в контуре нечеткого регулятора становится более продолжительным, а уменьшение значения A приводит к появлению перерегулирования, хотя заданное значение достигается быстрее. Для инерционного с запаздыванием объекта управления это явление вполне закономерно и не противоречит классической теории управления.

Таблица

Зависимость показателей качества переходного процесса от параметра настройки
нечеткого регулятора

Параметр настройки нечеткого регулятора A	Перерегулирование σ , %	Первое время регулирования τ_{p1} , с	Полное время переходного процесса τ_{p2} , с
150	28	212	612
250	18	216	360
350	14	218	438
450	10	223	448
500	8	228	440
550	6	230	421
600	1	240	270
650	0	520	520
700	0	560	560
1000	0	1180	1180

Установлено, что для принятых значений динамических параметров объекта управления и при величине $K_{\text{ИМ}} = 0,2$ % хода/с наилучшие показатели переходного процесса (см. табл.) достигаются при значении $A = 600$, принятого в дальнейших расчетах.

В производственной ситуации при использовании нечеткого регулятора наилучшее значение данного параметра зависит от динамических свойств объекта управления, выбранного ИМ постоянной скорости и конкретного требования к качеству переходного процесса при управлении данным приоритетным параметром технологического процесса.

Затем следует определить K_2 – нормирующий коэффициент для скорости изменения рассогласования. Если скорость изменения регулируемой величины и скорость исполнительного механизма, изменяющего $X_{\text{ВХ}}$, соизмеримы, то коэффициент K_2 , предназначенный для нормирования скорости изменения рассогласования, можно определить по формуле (10):

$$K_2 = K_{\text{ОБ}} \cdot \bar{K}_{\text{ИМ}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{ОБ}}$ – коэффициент передачи объекта управления, который определяет количество физических единиц измерения регулируемого параметра, приходящихся на 1% хода ИМ; $\bar{K}_{\text{ИМ}}$ – средняя установленная скорость ИМ;

$K_{\text{ИМ}}^{\min} \leq \bar{K}_{\text{ИМ}} \leq K_{\text{ИМ}}^{\max}$, где $K_{\text{ИМ}}^{\min}$ и $K_{\text{ИМ}}^{\max}$ соответственно минимальная и максимальная (по технической характеристике) скорости ИМ при условии импульсного управления движением ИМ. Причем продолжительность управляющего импульса не должна быть меньше $0,15 \div 0,20$ с, а минимальная продолжительность паузы между импульсами должна быть пропорциональна сумме $T_1 + T_2$ или $T_{\text{ОБ}} + \tau_3$.

Если $\bar{K}_{\text{ИМ}}$ значительно отличается от скорости изменения регулируемого параметра, то величина K_2 требует соответственной корректировки. Нецелесообразно при управлении инерционным параметром использовать быстроходный ИМ и наоборот.

Определенное влияние на переходный процесс оказывает и заданная зона нечувствительности нечеткого регулятора. Увеличение зоны нечувствительности ΔZ_1 приводит к увеличению статической (установившейся) ошибки, а чрезмерное уменьшение ΔZ_H приводит к возникновению периодического колебательного переходного процесса, что крайне нежелательно.

Для демонстрации режима работы нечеткого регулятора питания агрегата первичного измельчения рудного материала рассмотрим пример. До поступления возмущения по заданию управляемый процесс измельчения рудного материала находился в установившемся режиме при расходе 650 кг/мин руды в питание. Расход воды изменяется системой объемного пропорционирования расходов руда – вода, агрегат барабанного типа работает в открытом режиме прямого слива пульпы.

Период дискретизации расчета принимаем равным $\Delta\tau = 1$ с. Статическая характеристика процесса измельчения определяется выражением (8). В начальный момент времени при $\tau = 0$ на вход системы нечеткого управления расходом питания подается сигнал $Z_{\text{зад}} = 750$ кг/мин.

При $F(X_{\text{ВХ}}(\tau))|_{\tau=0} = 650$ кг/мин значение $X_{\text{ВХ}}(\tau)|_{\tau=0} = 53,64$ % хода. При установившемся режиме $Z_1(\tau)|_{\tau=0} = Z_2(\tau)|_{\tau=0} = F(X_{\text{ВХ}}(\tau))|_{\tau=0} = 650$ кг/мин. $\varepsilon(\tau < 0) = 0$, так как $Z_2(\tau < 0) = Z_{3\text{Ад}}(\tau < 0)$; $\varepsilon(\tau = 0) = Z_{3\text{Ад}}(\tau = 0) - Z_2(\tau = 0) = 750 - 650 = 100$ кг/мин.

При значительной инерционности $\left. \frac{dZ_1}{d\tau} \right|_{\tau=0} = \left. \frac{dZ_2}{d\tau} \right|_{\tau=0} = 0$, т.е. $\left. \frac{d\varepsilon}{d\tau} \right|_{\tau=0} = 0$.

При этом получим $K_1 = 120$; $K_2 = 1,12$; $X_1 = 0,83$ и $X_2 = 0$.

При $\tau = 0$ нормированное значение сигнала рассогласования составит 0,83 нормированных единиц, а сигнал скорости изменения рассогласования будет нулевым, так как рассматриваем начальный этап процесса управления инерционным с запаздыванием параметром.

Для определения числового значения выходного управляющего сигнала Y нечеткого регулятора воспользуемся упрощенным алгоритмом формирования нечеткого вывода [2].

1. Используя графики $\mu(x)$, приведенные на рис. 2, определим значения функций принадлежности каждого входного нормированного сигнала для значений $X_1 = 0,83$ и $X_2 = 0$:

$$A_1^{x_1} = 0,77; A_2^{x_1} = 0,50; A_3^{x_1} = 0; A_4^{x_1} = 0; A_5^{x_1} = 0;$$

$$A_1^{x_2} = 0; A_2^{x_2} = 0,30; A_3^{x_2} = 1; A_4^{x_2} = 0,3; A_5^{x_2} = 0.$$

2. В качестве логического вывода используем операцию "минимум", при которой функция принадлежности вывода "отсекается" по высоте, соответствующей вычисленной степени истинности предпосылки правила (нечеткая логика "И"). Для этого необходимо в каждом правиле (7) подставить соответствующие значения функций принадлежности входных сигналов, рассчитанные ранее, а затем определить минимальное из этих значений:

$$\mu_1^P = A_5^{X_1} \wedge A_3^{X_2} = \min(0;1) = 0.$$

Аналогично получим: $\mu_2^P = 0,77$; $\mu_3^P = 0$; $\mu_4^P = 0,5$; $\mu_5^P = 0$; $\mu_6^P = 0,3$; $\mu_7^P = 0$; $\mu_8^P = 0,3$; $\mu_9^P = 0$; $\mu_{10}^P = 0$; $\mu_{11}^P = 0$.

3. Далее найдем четкое значение выходной переменной (нормированного управляющего воздействия) в соответствии с выражением (11):

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{11} \mu_i^R}{\sum_{i=1}^{11} \mu_i^P} = \frac{\sum_{i=1}^{11} (\mu_i^P \circ \mu_i^Y)}{\sum_{i=1}^{11} \mu_i^P}. \quad (11)$$

Для рассчитанных значений μ получаем $Y_{\text{норм}} = 0,71$.

Поскольку нормированное значение управляющего воздействия больше зоны нечувствительности сигнум-реле, то управляющий импульс $U|_{\tau=0} = +1$, переключающая функция $\sigma_{\tau_i=+1} = +1$. Это означает, что числовое значение управляющего воздействия можно рассчитать по формуле (5), представленной в виде итерации $X_{\text{ВХ}_{i+1}} = X_{\text{ВХ}_i} + \sigma_i \cdot \bar{K}_{\text{ИМ}} \cdot \Delta\tau$ или $X_{\text{ВХ}_{\tau=1}} = 53,84\%$ хода.

На следующей итерации, при $\tau = 1$ с при положении вала ИМ, равном 53,84 % хода повторим все вычисления. Аналогично с использованием созданной рабочей программы производится расчет и для последующих итераций в зависимости от текущих значений величин рассогласования и скорости изменения рассогласования с использованием базы правил (7). Траектория переходного процесса, полученная путем математического моделирования системы нечеткого управления питанием предварительной стадии измельчения рудного материала, представлена на рис. 3.

Анализ полученного результата показывает, что нечеткий программно реализованный регулятор обеспечивает достаточно оперативное (практически без перерегулирования) управление процессом питания в режиме стабилизации заданного значения.

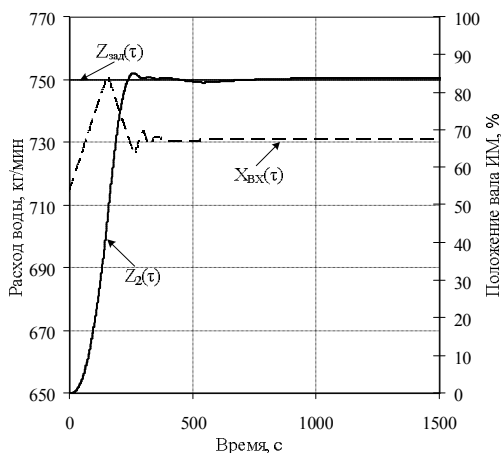


Рис. 3. Переходный процесс в системе регулирования с использованием принципов нечеткой логики

Выводы:

1. Предложен новый алгоритм управления, использующий нечеткие логические выводы и позволяющий оперативно стабилизировать параметр технологического процесса в условиях неполной информации об управляемом процессе.

2. Проверка работы алгоритма регулирования на имитационной модели, полностью повторяющей процесс загрузки рудного материала в мельницу, при изменении задания контура системы нечеткого управления показал уменьшение перерегулирования на 20% и времени регулирования на 5% по сравнению с использованием типового контура с ПИ регулятором, настроенным по методу оптимума по модулю передаточной функции.

Список литературы: 1. Батыршин И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения / И.З. Батыршин. – Казань: Отечество. – 2001. – 234 с. 2. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит. – 2001. – 163 с. 3. Круглов В.В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода / В.В. Круглов, М.И. Дли. – М.: Физматлит. – 2002. – 381 с. 5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Физматлит. – 2005. – 281 с. 6. Фрер Р. Введение в электронную технику регулирования / Р. Фрер, А. Оргенбургер. – М.: Энергия. – 1973. – 159 с. 7. Кривоносов В.А., Тараненко М.Е. Управление процессом измельчения руды на основе регулятора состояния с наблюдателем Луенберга / В.А. Кривоносов, М.Е. Тараненко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж. – 2008. – № 4. – С. 132 – 135. 8. Иванов В.Ю. Обоснование параметров магнитно-импульсного разупрочнения коренных золотосодержащих руд при их рудоподготовке: дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.20 / Иванов Виталий Юрьевич. – М., 2009. – 148 с. 9. Пат. 2149062 Россия, МПК B02C25/00. Способ управления процессом измельчения / Попов В.П., Щупановский В.Ф., Попов Е.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «Лебединский горно-обогатительный комбинат». – № 98121106/03; заявл. 18.11.1998; опубл. 20.05.2005. Бюл. № 7. 10. Лобко В.В. Автоматизация технологического процесса

измельчения руды на сильвинитовой обогатительной фабрике / В.В. Лобко, В.С. Мыслейко, А.П. Кузнецов // Доклады БГУИР. – 2006. – № 4 (16). – С. 59 – 63.

Статья представлена д.т.н. проф., проректором по научной работе ГОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова" Вдовиным К.Н.

УДК 658.512.011.56:519.87

Імітаційна модель цифрових контурів автоматичної стабілізації технологічних параметрів на основі правил нечіткого управління / Полько П.Г., Логунова О.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 133 – 144.

Приведені результати імітаційного моделювання цифрового контура стабілізації інерційного із запізнюванням параметра технологічного процесу, синтезованого з використанням нечіткої множини і нечітких логічних виводів, здатного ефективно функціонувати в умовах неповної інформації про керований параметр. Показані переваги нечіткого управління, що використовує спрощені математичні моделі технологічних об'єктів управління. Іл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: імітаційне моделювання, контур стабілізації, нечітка множина, нечітке управління.

UDK 658.512.011.56:519.87

Imitating model of digital contours of automatic stabilization of technological parameters on the basis of rules of indistinct management / Pol'ko P.G., Logunova O.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 133 – 144.

Results of imitating modelling of a digital inertial contour of stabilisation with delay of parametre of the technological process synthesised with use of indistinct sets and indistinct logic conclusions are resulted, capable effectively to function in the conditions of the incomplete information on the operated parametre. Advantages of the indistinct management using simplified mathematical models of technological objects of management are shown.. Figs.: 3. Refs.: 10 titles.

Keywords: imitation design, stabilizing contour, fuzzy sets, unclear management.

Поступила в редакцию 15.05.2010

Н.О. РИЗУН, канд. техн. наук, доц. ДУЭП (г. Днепропетровск),
Ю.К. ТАРАНЕНКО, д-р техн. наук, с.н.с. ДУЭП (г. Днепропетровск)

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Предложена методика разработки автоматизированной системы управления качеством тестового контроля знаний. Разработаны алгоритмы расширенного анализа качества тестового материала и идентификации результатов тестирования с учетом показателей фактического и нормативного времени выполнения тестовых заданий различной сложности. Ил.:1. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: качество тестового контроля, автоматизированная система, качество тестового материала, время выполнения тестового задания.

Постановка проблемы. На современном этапе компьютерный контроль знаний студентов является основой для получения объективной оценки уровня их учебных достижений (знаний, интеллектуальных умений, практических навыков), а также выработки прогностических рекомендаций по совершенствованию преподавания учебных дисциплин и организации учебного процесса в целом. С другой стороны, адекватность интерпретации уровня усвоения учебно-программного материала и эффективность принятых управленческих решений по улучшению существующей системы подготовки специалистов во многом зависит от качества используемой методики тестирования. Таким образом, совершенствование методики компьютерного тестового контроля, направленное на повышение уровня объективности средств измерения и процедуры проведения тестового сеанса, а также качества и научной обоснованности используемых тестовых материалов и технологий, является приоритетным направлением управления качеством образовательного процесса в ВУЗе. Особенности данной задачи: большая размерность и высокая сложность системы управления качеством тестового контроля, обуславливающая эффективность использования для ее исследования и автоматизации теории системного анализа [1]; сложность математической формализации методики синтеза частных критериев задачи, предопределяющая целесообразность выбора в качестве методики ее решения эвристического принципа покомпонентного спуска [2].

Анализ литературы. В настоящее время ведутся исследования в области разработки методик автоматизации систем компьютерного тестирования. Большинство работ направлены на повышение эффективности технической и программной организации тестового сеанса [3, 4]; ряд из них посвящен прямой автоматизации или совершенствованию классической системы оценки качества тестового материала [5, 6]; множество научных школ занимаются

разработкой методик повышения объективности идентификации результатов тестирования знаний студентов как путем использования классических методов снижения влияния эффекта "угадывания" [7, 8], так и, в частности, путем учета при формировании результатов тестирования фактического времени выполнения тестового задания [9].

Целью статьи является обоснование методики разработки автоматизированной системы управления качеством тестового контроля знаний, обеспечивающей за счет реализации системного подхода комплексное решение следующих подзадач: совершенствования технологии оценки качества тестового материала за счет ввода в рассмотрение фактора времени выполнения тестовых заданий; реализации принципов статистической равномерности результатов тестирования и демократичности организации тестового сеанса; повышения объективности оценки знаний студентов путем использования при идентификации результатов тестирования динамического коэфициента с учетом уровня сложности вопросов.

Результаты исследований. В соответствии с теорией системного анализа, авторами статьи формализована математическая модель системы управления качеством тестового контроля знаний, система ее входов и выходов, а также цель функционирования

$$f_p(X_p, Y_p, Z_p, U_p) \rightarrow extr, \quad (1)$$

где X_p – вектор входной информации; Y_p – вектор выходной информации; Z_p – критерий оптимальности задачи; U_p – правила, инструкции, алгоритмы решения задачи.

С целью разрешения проблемы большой сложности данной задачи была выполнена ее декомпозиция по функциональному признаку на подзадачи, поэтапное решение которых методом эвристического покомпонентного спуска и последующая программная реализация с учетом частных локальных критериев позволяет на этапе синтеза получить субоптимальное значение показателя качества системы оценивания знаний:

$$Z_p = Z_p^1 \text{ уровень} * Z_p^2 \text{ уровень} * Z_p^3 \text{ уровень} \rightarrow extr. \quad (2)$$

Схема информационного взаимодействия и координации процесса решения выделенных подзадач K_i ($i = \overline{1, 3}$) представлена на рис. 1. Математическая формализация подзадачи K_1 – оценки и повышения качества тестового материала – может быть представлена в следующем виде:

$$f_1(X_1, Y_1, Z_1, U_1) \rightarrow extr, \quad (3)$$

где $X_1 = \{X_{11}, X_{12}, X_{13}, Y_{21}^*, Y_{22}^*\}$ – множество элементов вектора входной информации подзадачи K_1 ; $Y_1 = \{Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}\}$ – множество элементов вектора выходной информации подзадачи K_1 ; $Z_1 = \{Z_{11}, Z_{12}\}$ – множество

элементов вектора критериев оптимальности подзадачи K_1 ; U_1 – алгоритм решения подзадачи K_1 .

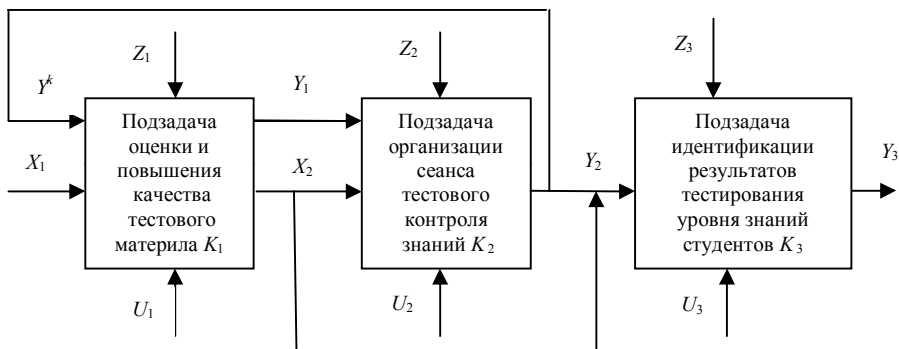


Рис. 1. Декомпозиция задачи управления качеством тестового контроля знаний по функциональному признаку

Параметры системы управления подзадачей K_1 . Входная информация (X_1): X_{11} – вопросы тестового материала; X_{12} – варианты ответов на вопросы тестового материала; X_{13} – правильные ответы на вопросы тестового материала; Y_{21}^k – информация о правильных (неправильных) ответах при контрольном тестировании; Y_{22}^k – информация о времени, потраченном на правильный ответ при контрольном тестировании. Выходная информация (Y_1): Y_{11} – относительный уровень (ранг) сложности вопросов r_{ij} ; Y_{12} – переработанные вопросы тестовых заданий; Y_{13} – переработанные варианты ответов на вопросы тестовых заданий (ТЗ); Y_{14} – переработанные правильные ответы на вопросы ТЗ; Y_{15} – эталонное время выполнения ТЗ различной сложности. Критерий оптимизации (Z_1): Z_{11} – надежность теста; Z_{12} – валидность теста.

Управление процессом решения данной подзадачи осуществляется с помощью алгоритма U_1 расширенного анализа качества тестового материала, основанного на показателе фактической скорости выполнения тестовых заданий различной сложности и обеспечивающего совершенствование технологии оценки качества тестового материала. Автоматизация данного алгоритма предполагает разработку и программную реализацию следующих шести этапов:

Этап 1. Разработка и реализация алгоритма идентификации уровня сложности тестовых заданий с использованием методики многокритериального анализа вариантов на основе нечеткой логики и экспертных оценок [10]. Входная информация: d_i – относительная степень сложности темы ($i = \overline{1, n}$, где n – количество тем в тестовом материале); a_j –

относительная степень сложности вопросов ($j = \overline{1, m}$, где m – количество уровней сложности); $s_{ij} = d_i \times a_j$ – относительная степень сложности отдельных вопросов темы. Выходная информация: Y_{11} .

Этап 2. Организация и проведение экспертизы по установлению значения среднего нормативного времени на выполнение ТЗ экспертным путем. Входная информация: Y_{11} ; TF_r – среднее фактическое время на выполнение экспертом ТЗ. Выходная информация: Y_{14} – эталонное время выполнения тестового задания в зависимости от уровня сложности $TN_r = TE_r \times \Delta p_r$, где Δp_r – погрешность, корректирующая среднее фактическое время TE_r на выполнение экспертом ТЗ на вопросы r -го уровня сложности с поправкой на тестирующихся студентов.

Этап 3. Проведение процедуры анализа качества исходного тестового материала в соответствии с классической теорией тестирования (КТТ). Входная информация: X_{11} – вопросы тестового материала; X_{12} – варианты ответов на вопросы тестового материала; X_{13} – правильные ответы на вопросы тестового материала. Выходная информация: Y_{11}^* – переработанные в соответствии с КТТ вопросы набора ТЗ; Y_{12}^* – переработанные в соответствии с КТТ варианты ответов на вопросы ТЗ; Y_{13}^* – переработанные в соответствии с КТТ правильные ответы на вопросы тестовых заданий; Y_{22}^k – информация о времени, потраченном на правильный ответ при контрольном тестировании TF_{iv} ; Y_{21}^k – информация о правильных (неправильных) ответах студента при контрольном тестировании.

Этап 4. Разработка и реализация алгоритма расширенного анализа качества тестового материала на основании показателя фактической скорости выполнения ТЗ различной сложности. Входная информация: Y_{11} ; Y_{15} ; Y_{22}^k ; Y_{11}^* ; Y_{12}^* ; Y_{13}^* . Выходная информация: $SPEED_T_v = TF_{iv}/TN_r$ – матрица относительной скорости выполнения тестовых заданий; KN_v – количество (процент) тестируемых, скорость выполнения которыми t -го ТЗ ниже нормативной; KV_v – количество (процент) тестируемых, скорость выполнения которыми t -го ТЗ превышает нормативную.

Этап 5. Формализация процедуры переработки тестового материала по результатам расширенного анализа качества тестового материала. Входная информация: KN_v ; KV_v ; N_V и N_N – соответственно верхняя и нижняя нормы значений KV_v и KN_v ; $Basa_S$ – эвристическая база знаний, содержащая правила устранения "проблемности" вопросов с точки зрения времени выполнения задания: если $KV_v \leq N_N$ и $KN_v \geq V_N$, то "повышенная сложность вопроса"; если $KN_v \leq N_N$ и $KV_v \geq V_N$, то "заниженная сложность вопроса", при $N_V = 90\%$, $N_N = 10\%$. Выходная информация: Y_{12} – переработанные вопросы ТЗ; Y_{13} – переработанные варианты ответов на вопросы ТЗ; Y_{14} – переработанные правильные ответы на вопросы ТЗ.

Этап 6. Проведение контрольного тестирования на откорректированном тестовом материале. Входная информация: $Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{21}^*$. Выходная информация: Z_{11} – надежность теста; Z_{12} – валидность теста.

Таким образом, предлагаемый алгоритм совершенствования технологии оценки качества тестовых заданий U_1 [11], основанный на использовании критерия фактической скорости выполнения тестовых заданий различной сложности, позволяет проводить расширенный качественный анализ тестового материала (этап 4). В результате формализации процедуры переработки тестового материала (этап 5) значения показателей надёжности и валидности тестового материала увеличиваются на 15 – 20% по отношению к результатам, полученным в результате реализации принципов классической теории (этап 3).

Результатом решения подзадачи K_1 является преобразование первичного тестового материала в качественный тест, использование которого гарантирует первый уровень оптимизации показателя качества системы оценивания знаний студентов Z_p^1 уровень.

Математическая формализация подзадачи K_2 – организации сеанса тестового контроля знаний – может быть представлена в следующем виде:

$$f_2(X_2, Y_2, Z_2, U_2) \rightarrow extr, \quad (4)$$

где $X_2 = \{X_{21}, X_{22}, X_{23}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}\}$ – множество элементов вектора входной информации подзадачи K_2 ; $Y_2 = \{Y_{21}, Y_{22}\}$ – множество элементов вектора выходной информации подзадачи K_2 ; $Z_2 = \{Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}\}$ – множество элементов вектора критериев оптимальности подзадачи K_2 ; U_2 – принципы организации тестового сеанса. Параметрами системы управления подзадачей организации сеанса тестового контроля знаний являются:

Входная информация (X_2): Y_{12} ; Y_{13} ; Y_{14} ; X_{21} – общее время тестового сеанса; X_{22} – общее количество вопросов в тестовом сеансе; X_{23} – количество вопросов каждой темы, случайным образом выбираемое в тестовый сеанс. Выходная информация (Y_2): Y_{21} – информация о правильных (неправильных) ответах студента; Y_{22} – информация о фактическом времени, потраченном на правильные ответы. Критерий оптимизации (Z_2): Z_{21} – статистическая равномерность результатов тестирования; Z_{22} – степень демократичности процедуры тестирования; Z_{23} – качество пользовательского интерфейса.

На этапе разработки и последующей автоматизации методики организации тестового сеанса U_2 авторами обоснована целесообразность реализации следующих принципов: использование равного количества дистракторов во всех вопросах теста; одновременный вывод на экран всего списка вопросов тестового сеанса; ограничение только общего времени прохождения теста; формирование текста подсказки; наличие дополнительной информации о неправильных ответах студента. Результатом решения подзадачи K_2 является качественная организация тестового сеанса, проведение которого гарантирует оптимизацию второго уровня –

статистическую равномерность результатов тестирования (Z_{21}), высокий уровень демократичности тестового сеанса (Z_{22}) и качества интерфейса пользователя (Z_{23}). Мультипликативная свертка критериев оптимизации первого и второго уровня позволяет повысить адекватность и объективность, а значит, и качество процедуры контроля уровня знаний студентов:

$$Z_p^{2 \text{ уровень}} = Z_p^{1 \text{ уровень}} Z_2 \rightarrow extr. \quad (5)$$

Математическая формализация подзадачи K_3 – идентификации результатов тестирования уровня знаний студентов – может быть записана в следующем виде:

$$f_3(X_3, Y_3, Z_3, U_3) \rightarrow extr, \quad (6)$$

где $X_3 = \{Y_{21}, Y_{22}, Y_{11}, Y_{15}\}$ – множество элементов вектора входной информации подзадачи K_3 ; Y_3 – выходная информация подзадачи K_3 ; Z_3 – критерий оптимальности подзадачи K_3 ; U_3 – алгоритм решения подзадачи K_3 . Параметрами системы управления подзадачей идентификации результатов тестирования уровня знаний студентов являются: Входная информация (X_3): Y_{21} ; Y_{22} ; Y_{11} ; Y_{15} . Выходная информация Y_3 – оценка тестируемого по результатам тестового сеанса. Критерий оптимизации Z_3 – уровень объективности оценки знаний тестируемых.

Управление процессом решения данной подзадачи осуществляется с помощью разработанного алгоритма U_3 идентификации результатов тестирования с учетом динамического коэффициента и нормативного количества баллов за ответы на ТЗ различной степени сложности, обеспечивающего повышение уровня объективности оценки знаний студентов Z_3 . Автоматизация данного алгоритма предполагает разработку и программную реализацию следующих трех этапов:

Этап 1. Разработка алгоритма идентификации нормативного количества баллов за правильный ответ на ТЗ различной сложности с использованием методики многокритериального анализа вариантов на основе нечеткой логики и экспертных оценок [10]. Входная информация: Y_{21} ; Y_{11} ; $Basa_B$ – нечеткая база знаний, предназначенная для принятия решения по идентификации нормативного количества баллов за одно ТЗ в зависимости от сложности темы. Выходная информация: K_r – нормативное количество баллов за одно ТЗ r -й сложности; $K_\phi = \sum K_r$ – суммарное количество баллов тестируемого с учетом сложности заданий.

Этап 2. Разработка алгоритма расширенного анализа результатов тестирования на основании коэффициента корреляции K_{kor} между фактическим и нормативным временем на правильный ответ. Входная информация: Y_{15} ; Y_{22} . Выходная информация: K_{kor} ; вектор пороговых значений коэффициент корреляции $PK_{kor} = \{PK_{kor1} = 0,29; PK_{kor2} = 0,30; PK_{kor3} = 0,49\}$.

Этап 3. Формализация процедуры снижения влияния фактора "угадывания" на формирование результатов тестирования за счет

использования динамического коэффициента. Входная информация: K_{kor} ; PK_{kor} ; K_{ϕ} ; $Basa_P$ – эвристическая база знаний, содержащая правила корректировки суммарной оценки по результатам тестирования, полученной путем формального накопления баллов за правильные ответы, с учетом динамического коэффициента [12, 13]. Выходная информация: K – общее количество баллов по результатам тестового сеанса.

Результатом решения подзадачи K_3 является повышение уровня объективности оценок Z_3 , выставленных по результатам тестирования, гарантирующего оптимизацию третьего уровня путем учета при идентификации количества баллов за правильный ответ степени сложности каждого ТЗ и корректировки результатов тестирования согласно эвристической базе правил $Basa_P$: если $K_{kor} < PK_{kor1}$, то $K = \Sigma(K_r \times (TF_{iv}/TN_r))$; если $PK_{kor2} < K_{kor} < PK_{kor3}$, то $K = \Sigma K_r \times \Sigma (TF_{iv}/TN_r)$, иначе $K = \Sigma K_r$. Предлагаемая формальная процедура корректировки результатов тестирования позволяет "штрафовать": слишком быстрые ответы, свидетельствующие о вероятной попытке угадать ответ без предварительного обдумывания; слишком длительные ответы, которые можно интерпретировать и как свидетельство неустойчивости и неуверенности оцениваемых знаний, и как факт принятия студентом решения ответить "наугад".

Мультипликативная свертка критериев второго и третьего уровня гарантирует достижение экстремума главного критерия поставленной задачи – обеспечения субоптимального значения показателя качества системы оценивания знаний студентов: $Z_p^3 \text{ уровень} = Z_p^2 \text{ уровень} * Z_3 \rightarrow extr.$

Выводы. Авторами статьи предложена методика разработки автоматизированной системы управления качеством тестового контроля знаний путем комплексного поэтапного решения подзадач, выделенных в результате декомпозиции по функциональному признаку, позволяет повысить значения показателей: надёжности и валидности тестового материала, качества организации тестового сеанса, адекватности процесса идентификации результатов тестирования и объективности оценки знаний студентов.

Список литературы: 1. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А.Емельянов, А.А. Кукушкин / Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика. – 2003. 2. Методы решения задач оптимизации в АСУ [Электронный ресурс] / Режим доступа: \www/ URL: <http://www.studatf.com/33-200905.html>. 3. Мелехин В.Б. Автоматизированная система контроля знаний студентов в вузе / В.Б. Мелехин, Е. И. Павлюченко // Транспортное дело России. – 2009. – № 1. – С. 23-25. 4. Автоматизована система тестування, навчання та моніторингу. Пат. 43616 Україна: МПК G09B 7/00 / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчук, В.В. Шведова. Замовник та патентовласник: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – № 200902620, заявл. 23.03.2009, опубл. 25.08.2009, Бюл №16, 2009. 5. Белоус Н. Методика определения качества тестовых заданий, оцениваемых по непрерывной шкале / Н. Белоус, И. Куцевич, И. Белоус // International Book Series "Information Science and Computing". The paper is selected from XVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution". – Kyiv, 2009. – С. 127-133. 6. Максимова О.А. Технология комплексной экспертизы качества тестовых материалов для контроля учебных достижений обучающихся / О.А. Максимова // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2008. – № 10. – С. 140-146. 7. Павлова И.Н. О проблеме

угадывания правильного ответа в тесте [Электронный ресурс] / *И.Н. Павлова, А.В. Одинок* // Международный конгресс конференций "Информационные технологии в образовании" (ИТО-2003) / Режим доступа: /www/ URL: <http://www.ict.edu.ru/vconf>. **8.** *Ким В.С.* Коррекция тестовых баллов на угадывание / *В.С. Ким* // Педагогические измерения, 2006. – № 4. – С. 47-55. **9.** Спосіб виміру рівня знань учнів при комп'ютерному тестуванні. Пат. 61415 Україна: МПК 7G06F7/00 / *А.В. Велігура, Л.Р. Лехціер, В.П. Ткаченко*. Замовник та патентовласник: Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № 003010849, заявл. 31.01.2003, опубл. 17. 11. 2003. Бюл № 11, 2003. **10.** *Ризун Н.О.* Использование теории нечетких множеств для идентификации степени сложности темы в системах компьютерного тестирования знаний / *Н.О. Ризун* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 6/2 (42) – С. 32-37. **11.** *Ризун Н.О.* Эвристический алгоритм совершенствования технологии оценки качества тестовых заданий / *Н.О. Ризун* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 3 – С. 40-49. **12.** *Тараненко Ю.К.* Учет фактора времени при оценке знаний студентов путем компьютерного тестирования систем [Электронный ресурс] / *Ю.К. Тараненко, Н.О. Ризун* // Тезисы II Международной научно-практической конференции "Ключевые аспекты научной деятельности – 2010". Современные информационные технологии. Сроки проведения: 17.01 – 25.01.2010. Место издания: Бял ГРАД-БГ (г. София, Болгария). – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/Page_ru.htm. **13.** *Тараненко Ю.К.* Опыт совершенствования методики компьютерного тестирования знаний студентов / *Ю.К. Тараненко, Н.О. Ризун* // Научно-практическая конференция "Современные направления теоретических и прикладных исследований '2010". – Одесса: Черноморье. – 2010. – Т.3. – С. 29-34.

УДК 681.3:378.146

Методика розробки автоматизованої системи управління якістю тестового контролю знань / Ризун Н.О., Тараненко Ю.К. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 145 – 152.

Запропоновано методику розробки автоматизованої системи управління якістю тестового контролю знань. Розроблено алгоритми розгорнутого аналізу якості тестового матеріалу та ідентифікації результатів тестування з урахуванням показників фактичного та нормативного часу виконання тестових завдань різної складності. Ил.:1. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: якість тестового контролю, автоматизована система, якість тестового матеріалу, час виконання тестового завдання.

UDC 681.3:378.146

The methodology of development of automatized system of test knowledge control management / Rizun N.O., Taranenko Y.K. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 145 – 152.

The methodology of development of automatized system of test knowledge control management is proposed. The algorithms of detailed analysis of test material quality and identification of test results with a glance on indices of real and normative time of the test job processing are developed. Figs.:1. Refs.: 13 titles.

Key words: test knowledge control, automatized system, test material quality, time of the test job processing.

Поступила в редколлегию 07.05.2010

В.В. РОМАНЮК, канд. техн. наук, доц. ХНУ (м. Хмельницький)

ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ ОДНОГО УЗАГАЛЬНЕНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ІНТЕГРАЛА НА НЕВІД'ЄМНІЙ ГРАНИЦІ ОДИНИЧНОЇ КУЛІ З НУЛЬОВИМ ЦЕНТРОМ

Поставлено задачу знаходження функціонального (континуального) інтегралу на невід'ємній границі кулі одиничного радіуса з центром у початку координат нормованого простору $\mathbb{L}_1[0; 1]$. Для чисельного методу його визначення побудовано інтегральну суму з відповідною нормою для диференціала точки досліджуваного підпростору простору $\mathbb{L}_1[0; 1]$.

Ключові слова: функціональний (континуальний) інтеграл, нормований простір $\mathbb{L}_n[0; 1]$, одинична куля з нульовим центром.

Постановка проблеми. Континуальне інтегрування займає одне з центральних місць у математичному апараті теоретичної фізики [1]. Уперше використані у квантовій механіці Р. Фейнманом у 1948 р., континуальні інтеграли (або, як їх ще називають, функціональні інтеграли) стали стрижнем для досліджень у квантовій фізиці [2], у квантовій теорії поля, а також в інших галузях. Наближене континуальне інтегрування є одним із найбільш перспективних засобів обчислень [3]. Функціональні інтеграли також знаходять своє місце у теорії керування, де у фазовому просторі розглядається результат від складання усіх траєкторій, по яким фазова точка могла б із початкового положення потрапити у кінцеве [4]. Але виявляється, що континуальний інтеграл може мати прикладне значення не тільки для квантової фізики чи теорії керування. Наприклад, в теорії антагоністичних ігор у роботі [5] згадується про задачу визначення глобального наслідку застосування гравцем його оптимальної стратегії, котра, зокрема, для першого гравця, полягає в обчисленні інтеграла

$$\int_{q(y) \in \mathcal{A}} \left(\int_{x \in X} \int_{y \in Y} K(x, y) p(x) q(y) dx dy \right) d[q(y)] = \\ = \int_{q(y) \in \mathcal{A}} v[p(x), q(y)] d[q(y)] \quad (1)$$

по множині $\mathcal{A}$ усіх змішаних стратегій другого гравця, кожен елемент $q(y)$ якої ми, не обмежуючи загальності, ототожнюємо зі щільністю розподілу імовірностей на борелевій підмножині $Y \subset \mathbb{R}$ ненульової міри:

$$\int_{y \in Y} q(y) dy = 1, \quad \int_{x \in X} p(x) dx = 1. \quad (2)$$

Звичайно, в (1) і (2) $x \in X$ та $y \in Y$ є чистими стратегіями першого і другого гравців відповідно, $p(x)$ є щільністю розподілу імовірностей на X , де $X \subset \mathbb{R}$ є борелевою підмножиною ненульової міри, а поверхня $K(x, y)$ є ядром антагоністичної гри. Підінтегральна функція $v[p(x), q(y)]$ є математичним сподіванням виграшу першого гравця у ситуації у змішаних стратегіях $\{p(x), q(y)\}$. Знання інтегралу (1) може бути корисним при порівнянні глобальних наслідків використання першим гравцем двох його різних оптимальних стратегій [5].

Аналіз досліджень і публікацій по континуальному інтегруванню. Окремі види континуального інтеграла можуть знаходитись як аналітично, так і чисельно [6]. Аналітичні методи обчислення континуальних інтегралів розглянуті у [1, 4, 7], але там досліджується окремий клас функціональних інтегралів по мірі Вінера, по мірі Гауса, а також по умовній мірі Вінера з вагою. Чисельні методи, запропоновані у [1, 2], дозволяють брати широкий клас континуальних інтегралів, але всі вони так чи інакше пов'язані з імовірнісними мірами, множина яких задається на деяких кореляційних властивостях. Одним з найбільш відомих шляхів обчислення функціонального інтеграла у квантовій фізиці, котрий являє собою також і регуляризацию для усунення розбіжностей, є уведення просторово-часової решітки [2]. Цей прийом дозволяє замінити знаходження континуальних інтегралів обчисленням звичайних ріманових інтегралів високої кратності, для чого зазвичай використовується метод Монте-Карло. Але надзвичайно високі витрати машинного часу для виконання таких обчислень зумовлюють розвиток непертурбативної регуляризації каліброваної квантової теорії на континуальному рівні і проведення досліджень безпосередньо на континуальному рівні [2, 3]. Одним з перспективних підходів є побудова наближених формул, які є точними на заданому класі функціоналів. У рамках цього підходу авторами робіт [2, 3] для континуальних інтегралів по гаусовим мірам були побудовані нові наближені формули, котрі виявились точними на класі функціональних багаточленів довільного степеня. Отримані формули у частинному випадку умовної міри Вінера у роботах [2, 8] були використані для обчислення деяких величин в евклідовій квантовій механіці за допомогою наближеного обчислення інтегралів Фейнмана без дискретизації часу, де квадратурні формули дали суттєву економію машинного часу та необхідну точність. У [2] отримані наближені формули для кратних континуальних інтегралів по умовній мірі Вінера з вагою, досліджена міра континуального інтегрування у двомірній евклідовій квантовій теорії поля з поліноміальними взаємодіями бозонних полів. У нашому ж випадку з інтегралом (1) необхідно брати функціональний інтеграл виду

$$\int_{\rho(t) \in P} \left(\int_{t \in T} \varphi[\rho(t), t] dt \right) d[\rho(t)] \quad (3)$$

на множині

$$P = \left\{ \rho(t) \in \mathbb{L}_1(T) : \rho(t) \geq 0 \ \forall t \in T \subset \mathbb{R}, \int_{t \in T} \rho(t) dt = 1 \right\} \quad (4)$$

усіх можливих щільностей розподілів, котрі задаються на борелевій підмножині $T \subset \mathbb{R}$ ненульової міри. Ця множина є обмеженою у просторі $\mathbb{L}_1(T)$ і, більш того, (4) є границею невід'ємної одиничної кулі $\mathbb{B}[0, 1]$ з центром у нулі $\rho(t) = 0 \ \forall t \in T \subset \mathbb{R}$ й одиничним радіусом. Також припускатимемо, що функція $\varphi[\rho(t), t]$ є інтегровною на $T \subset \mathbb{R}$ у сенсі метрики простору $\mathbb{L}_2(T)$.

Формулювання мети і постановка завдань статті. Не обмежуючи загальності, надалі покладатимемо підмножину $T = [0, 1]$. На цьому одиничному сегменті треба знайти підінтегральний функціонал

$$\int_0^1 \varphi[\rho(t), t] dt \quad (5)$$

при

$$\int_0^1 \left(\varphi[\rho(t), t] \right)^2 dt < \infty. \quad (6)$$

Для того, щоб знаходити інтеграл (3), необхідно спочатку для нього записати відповідну інтегральну суму. Для цього потрібно визначитись із диференціалом $d[\rho(t)]$ та множиною (4) під знаком граничного переходу. Далі необхідно обґрунтувати метод обчислення цієї інтегральної суми, визначивши таким чином чисельний метод знаходження функціонального інтеграла типу (3) при кожному $\rho(t) \in P \subset \mathbb{B}[0, 1] \subset \mathbb{L}_1[0, 1]$.

Чисельне інтегрування функціонала-інтегранта. Вибираємо точки $t_i \in [0, 1]$ для $i = \overline{0, N}$ так, що $t_i - t_{i-1} = \frac{1}{N} \ \forall i = \overline{1, N}$. Таким чином виконуємо розбиття одиничного сегменту $T = [0, 1]$ на сегменти

$$\{[t_{i-1}; t_i]\}_{i=1}^N = \left\{ \left[\frac{i-1}{N}; \frac{i}{N} \right] \right\}_{i=1}^N. \quad (7)$$

Тоді інтеграл (5) наближено обчислюватимемо так:

$$\begin{aligned} \int_0^1 \varphi[\rho(t), t] dt &\approx \sum_{i=1}^N \varphi[\rho(t_i), t_i] (t_i - t_{i-1}) = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi[\rho(t_i), t_i] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi\left[\rho\left(\frac{i}{N}\right), \frac{i}{N}\right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Співвідношення (8) надалі буде покладено в чисельний метод знаходження функціонального інтеграла типу (3).

Визначення диференціала $d[\rho(t)]$. Як для першого наближення, спочатку природно покладемо, що

$$d[\rho(t)] = \lim_{\substack{\Delta\rho(t) \geq 0 \forall t \in [0;1] \\ \Delta\rho(t) \rightarrow 0 \forall t \in [0;1]}} \|\rho(t) - [\rho(t) + \Delta\rho(t)]\| = \lim_{\substack{\Delta\rho(t) \geq 0 \forall t \in [0;1] \\ \Delta\rho(t) \rightarrow 0 \forall t \in [0;1]}} \|\Delta\rho(t)\|, \quad (9)$$

де функція $\Delta\rho(t)$ є деяким приростом точки $\rho(t)$ у просторі

$$P = \left\{ \rho(t) \in \mathbb{L}_1[0;1] : \rho(t) \geq 0 \forall t \in [0;1], \int_0^1 \rho(t) dt = 1 \right\}, \quad (10)$$

і при цьому функція $\rho(t) + \Delta\rho(t)$ залишається у просторі (10):

$$\int_0^1 [\rho(t) + \Delta\rho(t)] dt = 1. \quad (11)$$

Тут нам слід виконати скінченне розбиття простору (10) на кусково-неперервні сходинокві функції, котрі є неперервними зліва і кожна з яких

задана N значеннями на N напівінтервалах $\left\{ \left[\frac{i-1}{N}; \frac{i}{N} \right] \right\}_{i=1}^N$. Щодо розбиття

по вісі ординат, то розмірковуватимемо наступним чином. Нехай по вісі ординат функція $\rho(t)$ має M рівнів квантування. Тоді, по-перше, кожна повністю квантована функція $\rho(t)$ представлятиметься у формі $M \times N$ -матриці зі значеннями 0 й 1, де сума елементів i -го стовпчика, поділена на відношення суми усіх елементів цієї матриці до N , буде дорівнювати значенню функції $\rho(t)$ на напівінтервалі $\left[\frac{i-1}{N}; \frac{i}{N} \right]$. По-друге, для того, щоб

скласти скінченне розбиття множини (10), треба його спершу упорядкувати.

Нехай скінченне розбиття множини (10) містить J елементів – квантованих функцій $\rho(t)$. Після упорядкування цих квантованих функцій перший елемент може мати, зокрема, найменшу норму, а останній –

найбільшу. Очевидно, що тут не можна брати норму простору $\mathbb{L}_1[0; 1]$, оскільки у ньому всі елементи розбиття множини (10) мають одиничну норму. Тоді прийдеться узяти норму простору $\mathbb{L}_2[0; 1]$. Але у цьому просторі виникає ще одна складність. Справа у тому, що якщо мова йде про одиничну імовірність (чисту стратегію одного з гравців в антагоністичній грі) при $t = h$, то $\rho(t) = \delta(t - h)$, причому інтеграл $\int_0^1 \delta^2(t - h) dt$ не існує, адже це можна

показати наступним чином. Якщо $\delta(t - h) \approx N \quad \forall t \in \left[h; h + \frac{1}{N} \right] \subset [0; 1]$, то

$$\int_0^1 \delta^2(t - h) dt = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} N^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} N = \infty. \quad (12)$$

Тому за норму візьмемо таку функцію:

$$\|\rho(t)\| = \frac{\sqrt{\int_0^1 \rho^2(t) dt}}{\max_{\rho(t) \in P \subset \mathbb{B}[0, 1] \subset \mathbb{L}_2[0, 1]} \sqrt{\int_0^1 \rho^2(t) dt}} = \frac{\sqrt{\int_0^1 \rho^2(t) dt}}{\sqrt{\int_0^1 \delta^2(t) dt}}, \quad (13)$$

яка є відношенням норми функції $\rho(t)$ у просторі $\mathbb{L}_2[0; 1]$ до максимальної норми цієї функції у цьому ж просторі. Далі має місце таке твердження.

Теорема 1. Норма (13) у просторі функцій (10) задовольняє нерівності

$$0 \leq \|\rho(t)\| \leq 1, \quad (14)$$

причому мінімум

$$\min_{\rho(t) \in P \subset \mathbb{B}[0, 1] \subset \mathbb{L}_2[0, 1]} \|\rho(t)\| = 0 \quad (15)$$

досягається на рівноімовірних розподілах, а максимум

$$\max_{\rho(t) \in P \subset \mathbb{B}[0, 1] \subset \mathbb{L}_2[0, 1]} \|\rho(t)\| = 1 \quad (16)$$

досягається на розподілах з одиничною імовірністю.

Доведення. Для рівноімовірного розподілу буде $\rho(t) = \rho_0(t) = 1 \quad \forall t \in [0; 1]$. Це означає, взагалі кажучи, що його норма у просторі $\mathbb{L}_n[0; 1]$

$$\left(\int_0^1 |\rho_0(t)|^n dt \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\int_0^1 1^n dt \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\int_0^1 dt \right)^{\frac{1}{n}} = 1^{\frac{1}{n}} = 1 \quad \forall n \geq 1, \quad (17)$$

звідки

$$\| \rho_0(t) \| = \frac{1}{\sqrt{\int_0^1 \delta^2(t) dt}} = 0, \quad (18)$$

де використано (12), є аргументом мінімуму (15). Для розподілу з одиничною імовірністю буде $\rho(t) = \delta(t - h)$ при $h \in [0; 1]$. Тоді максимум (16) досягається саме на таких розподілах, що доводить нерівність (14) і теорему загалом.

Отже, якщо (13) є нормою для сортування $\{\rho_j(t)\}_{j=1}^J$ елементів скінченного розбиття множини (10) за зростанням норми, то $\|\rho_{j-1}(t)\| \leq \|\rho_j(t)\|$ $\forall j = \overline{2, J}$. Тоді замість припущеної раніше форми функціонального диференціала (9) використаємо іншу, зі звичайною нормою підпростору $[0; 1] \subset \mathbb{R}$ числової прямої під знаком границі та внутрішньою нормою (13) упорядкування скінченного розбиття множини (10):

$$\begin{aligned} d[\rho(t)] &= \lim_{\substack{\Delta\rho(t) \geq 0 \forall t \in [0; 1] \\ \Delta\rho(t) \rightarrow 0 \forall t \in [0; 1]}} \left| \left(\|\rho(t)\| - \|\rho(t) + \Delta\rho(t)\| \right) \right| = \\ &= \lim_{\substack{\Delta\rho(t) \geq 0 \forall t \in [0; 1] \\ \Delta\rho(t) \rightarrow 0 \forall t \in [0; 1]}} \frac{\left| \sqrt{\int_0^1 \rho^2(t) dt} - \sqrt{\int_0^1 [\rho(t) + \Delta\rho(t)]^2 dt} \right|}{\sqrt{\int_0^1 \delta^2(t) dt}} \end{aligned} \quad (19)$$

при справедливості (11). Звідси випливає наступне твердження.

Теорема 2. Інтеграл

$$\int_{\rho(t) \in P} d[\rho(t)] = 1 \quad (20)$$

із диференціалом (19), де множиною інтегрування є (10).

Доведення. Оскільки виконана нерівність (14), то звичайна лебегівська міра множини упорядкованих норм (13) дорівнює одиниці. Нескінченно малі (19) у сумі (20) будуються саме за такою мірою, тому їх сума повинна дорівнювати одиниці. Теорему доведено.

Інтегральна сума для функціонального інтеграла типу (3) на множині (10). Визначимо наближено норму функції $\rho_j(t)$ у просторі $\mathbb{L}_2[0; 1]$ наступним чином:

$$\begin{aligned}\|\rho_j(t)\| &= \sqrt{\int_0^1 \rho_j^2(t) dt} \approx \sqrt{\sum_{i=1}^N [\rho_j(t_i) - \rho_j(t_{i-1})]^2 (t_i - t_{i-1})} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\rho_j\left(\frac{i}{N}\right) - \rho_j\left(\frac{i-1}{N}\right) \right]^2}. \quad (21)\end{aligned}$$

Тепер інтеграл (3) легко записати через його інтегральну суму, у якій інтегрування функціонала-інтегранта здійснюватиметься за (8), а диференціювання змінної інтегрування $\rho(t)$ відповідатиме (19) з відсортованими нормами $\{\|\rho_j(t)\|\}_{j=1}^J$ елементів скінченного розбиття множини (10):

$$\begin{aligned}\int_{\rho(t) \in R} \left(\int_{t \in T} \Phi[\rho(t), t] dt \right) d[\rho(t)] &\approx \int_{\rho(t) \in R} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Phi\left[\rho_j\left(\frac{i}{N}\right), \frac{i}{N}\right] \right) d[\rho(t)] \approx \\ &\approx \sum_{j=2}^J \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Phi\left[\rho_j\left(\frac{i}{N}\right), \frac{i}{N}\right] \right) \times \\ &\times \frac{\left| \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\rho_{j-1}(t_i) - \rho_{j-1}(t_{i-1})]^2} - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\rho_j(t_i) - \rho_j(t_{i-1})]^2} \right|}{\sqrt{N}} = \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{j=2}^J \left(\sum_{i=1}^N \Phi\left[\rho_j\left(\frac{i}{N}\right), \frac{i}{N}\right] \right) \times \\ &\times \left(\sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\rho_j\left(\frac{i}{N}\right) - \rho_j\left(\frac{i-1}{N}\right) \right]^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\rho_{j-1}\left(\frac{i}{N}\right) - \rho_{j-1}\left(\frac{i-1}{N}\right) \right]^2} \right). \quad (22)\end{aligned}$$

Звісно ж, модуль у (22) опущено завдяки нерівності $\|\rho_{j-1}(t)\| \leq \|\rho_j(t)\|$ $\forall j = \overline{2, J}$.

Висновок та перспектива подальшого дослідження. Функціональний інтеграл виду (3) є корисним для оцінювання глобального наслідку використання стратегії гравцем в антагоністичній грі. При покладанні норми (13) та диференціала (19) цей інтеграл може бути наближено обчислений як (22). При цьому вклад невраховуваної складової зі значенням $\rho(0)$ буде "з'їдатися" інтегруванням на множині нульової міри. Похибка обчислень,

згідно з (12) і (18), є пропорційною величині $\frac{1}{\sqrt{N}}$. Тоді, зокрема, значення

інтегралу (20) буде не таким, а дорівнюватиме $1 - \frac{1}{\sqrt{N}}$. Тому при

наближеному інтегруванні (3) по множині (10) слід брати доволі велике число N сегментів (7). Звідси перспектива подальшого дослідження якраз і полягає в удосконаленні та адаптації розробленого чисельного методу функціонального інтегрування до негроміздких за об'ємом просторово-часових решіток, тобто метою продовження дослідження є вироблення менш невимогливого чисельного методу до великого числа N сегментів (7).

Список літератури: 1. *Березин Ф.А.* Континуальный интеграл по траекториям в фазовом пространстве / *Ф.А. Березин* // Успехи математических наук. – 1980. – Т. 132. – Вып. 3. – С. 497 – 548. 2. *Жидков Е.П.* Об одном методе вычисления континуальных интегралов без решёточной дискретизации / *Е.П. Жидков, Ю.Ю. Лобанов, Р.Р. Шахбабян* // Математическое моделирование. – 1989. – Т. 1. – № 8. – С. 139 – 157. 3. *Жидков Е.П.* Приближённое вычисление кратных континуальных интегралов в многомерных задачах квантовой физики / *Е.П. Жидков, Ю.Ю. Лобанов, Р.Р. Шахбабян* // Математическое моделирование. – 1990. – Т. 2. – № 10. – С. 110 – 119. 4. *Далецкий Ю.Л.* Континуальные интегралы, связанные с операторными эволюционными уравнениями / *Ю.Л. Далецкий* // Успехи математических наук. – 1962. – Т. XVII. – Вып. 5 (107). – С. 3 – 115. 5. *Романюк В.В.* Оцінювання глобального і локальних наслідків застосування гравцем оптимальної стратегії в антагоністичних іграх при чистій оптимальній стратегії в іншого гравця / *В.В. Романюк* // Вісник Донецького національного університету. Серія А. Природничі науки. – 2009. – № 2. – С. 431 – 436. 6. Методы вычислений на ЭВМ: Справочное пособие / *Иванов В.В.* – К.: Наук. думка, 1986. – 584 с. 7. *Ладохин В.И.* Вычисление континуальных интегралов от

функционалов $\Phi \left[\int_0^r \alpha_1(\tau) d\tau; \dots; \int_0^r \alpha_m(\tau) d\tau \right]$ / *В.И. Ладохин* // Успехи математических наук.

– 1964. – Т. XIX. – Вып. 1 (115). – С. 155 – 159. 8. *Gregus M.* On the deterministic computation of functional integrals in application to quantum mechanical problems / *M. Gregus, Yu. Yu. Lobanov, O. V. Sidorova, E. P. Zhidkov* // J. Comp. Appl. Math. – 1987. – V. 20. – P. 247 – 256.

Стаття представлена д.т.н., проф. Національної академії державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького Катеринчуком І. С.

УДК 517.987.4

Численный метод нахождения одного обобщённого функционального интеграла на неотрицательной границе единичного шара с нулевым центром / *В.В. Романюк* // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 153 – 161.

Поставлена задача нахождения функционального (континуального) интеграла на неотрицательной границе шара единичного радиуса с центром в начале координат нормированного пространства $\mathbb{L}_1[0; 1]$. Для численного метода его приближённого определения построена интегральная сумма с соответствующей нормой для дифференциала точки исследуемого подпространства пространства $\mathbb{L}_1[0; 1]$. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: функциональный (континуальный) интеграл, нормированное пространство $\mathbb{L}_n[0; 1]$, шар единичного радиуса с центром в начале координат.

UDC 517.987.4

Numerical method for finding a generalized functional integral on nonnegative boundary of the unit ball with zero center / V.V. Romanuke // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 153 – 161.

The task of finding of functional (continual) integral is put on the non-negative border of ball of single radius with a center at the beginning of co-ordinates of the rationed space $\mathbb{L}_1[0; 1]$. For the numeral method of his close determination an integral sum is built with the proper norm for the differential of point of the probed subspace of space $\mathbb{L}_1[0; 1]$. Refs: 8 titles.

Key words: functional (continual) integral, rationed space $\mathbb{L}_n[0; 1]$, ball of single radius with a center at the beginning of co-ordinates.

Поступила в редакцию 23.05.2010

Е.О. САВКОВА, канд. техн. наук, доц. каф. АСУ ДонНТУ (г. Донецк)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Разработаны классы объектов, образующих структуру информационной системы мониторинга гидрофизических полей водной среды. Описание классов включает параметры объектов, влияющие на состав и функционирование системы, и методы, определяющие действия с экземплярами классов. Предложены дополнительные управляющие классы для описания взаимодействия объектов и имитации процесса зондирования. Ил.: 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: мониторинг гидрофизических полей водной среды, информационная система мониторинга.

Анализ литературы и постановка проблемы. Мониторинг гидрофизических полей водной среды относится к мониторингу природных сред и охватывает океан, реки и внутренние водоемы. Учитывая многопараметрический и изменчивый характер физических процессов, протекающих в океане, современный гидрофизический эксперимент требует, как правило, комплексного подхода. В современной океанографии основными средствами исследования являются автоматизированные системы сбора, передачи, обработки и хранения результатов наблюдений [1]. В настоящее время на вооружении океанологов и гидрофизиков находится большой арсенал различного рода исполнения зондирующих [2, 3], буксируемых [4], и автономных многоканальных измерительных гидрофизических систем [5, 6]. По способам применения системы делятся на вертикально-зондирующие, горизонтально-зондирующие и размещаемые на подводных аппаратах, буйах. Однако, в большинстве своем они непременно оснащаются каналами измерения основных гидрофизических параметров – температуры, удельной или относительной электрической проводимости, гидрофизического давления и скорости.

Наиболее актуальной является задача не просто выполнения измерений, а получение информации об изменениях гидрофизических полей в участках водной среды, характеризующихся наличием турбулентных возмущений. Поэтому необходимо, чтобы информационно-измерительные системы позволяли выполнять измерения с требуемым пространственным и временным разрешением.

Цель статьи. Объектно-эволюционная модель [7] системы мониторинга неоднородностей гидрофизических полей водной среды описывает все структурные элементы, образующие такую систему и позволяющие реализовать весь процесс измерений вертикальных профилей гидрофизических параметров (рис. 1). Целью данной работы является

разработка на основе этой модели диаграммы классов и алгоритма имитационного моделирования процесса вертикального зондирования, что позволит разработать основы структурно-алгоритмической организации информационно-измерительных систем мониторинга.

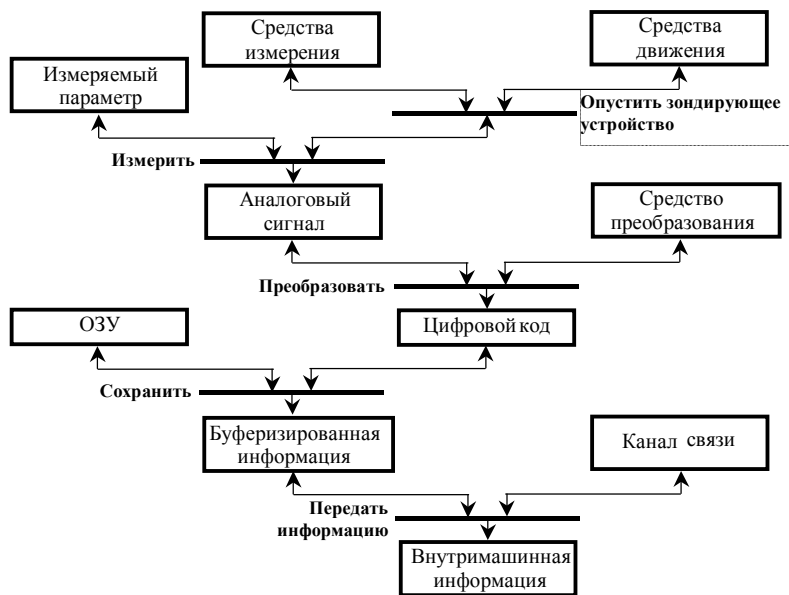


Рис. 1. Модель эволюции объектов информационно-измерительной системы мониторинга гидрофизических полей водной среды

Разработка диаграммы классов. На основании объектно-эволюционной модели разработаны классы объектов, образующих структуру информационной системы мониторинга. Описание классов включает параметры объектов, влияющие на состав и функционирование системы, и методы, определяющие действия с экземплярами классов [8]. Все объекты модели, от которых зависят эволюционирующие объекты [7], описаны соответствующими классами.

Класс `SystemItem` является базовым и определяет некоторое абстрактное устройство с набором характеристик (свойство `Character`) и стоимостью. В качестве характеристик экземпляров классов, влияющих на функционирование системы, приняты следующие параметры:

"Средства измерения" – класс `DATCHIK`: инерционность датчика в миллисекундах, коэффициенты градуировочной характеристики.

"Средства движения" – класс DVIg: дискретность изменения скорости в см, которая также определяет минимально возможную скорость движения, и по этому значению можно определить возможность регулирования скорости (если дискретность равна 0, то двигатель имеет постоянную скорость, заданную параметром V).

"Средства преобразования" – класс ACP: количество каналов мультиплексора, диапазон входного преобразуемого аналогового сигнала, разрядность АЦП.

"ОЗУ" – класс OZU: объем памяти в Мб.

"Канал связи" – класс KANAL: скорость передачи информации, Кб/с.

Объект "Измеряемый параметр" описан классом PARAMETR, который задает измеряемый профиль для имитации процесса измерений гидрофизических параметров. Описание остальных эволюционирующих объектов, а также объектов действия и поведения включено в вышеприведенные классы, а именно:

- объекты "Аналоговый сигнал" и "Измерение" представлены в классе DATCHIK функцией Get_P, которая преобразует измеряемый гидрофизический параметр в аналоговую величину с использованием градуировочной характеристики датчика и передает полученные значения через параметры функции;

- объекты "Цифровой код" и "Преобразование" представлены в классе ACP функцией Get_P, в которой аналоговый сигнал преобразуется в цифровой код посредством операции квантования. Полученный цифровой код передается с помощью параметров функции;

- объекты "Буферизированная информация" и "Сохранение" представлены в классе OZU многомерным массивом значений P и функцией Set_P, реализующей запись полученных значений;

- объекты "Внутримашинная информация" и "Передача информации" представлены в классе KANAL потоковой переменной f и функцией send.

Для измерения одного и того же гидрофизического параметра с целью повышения разрешающей способности по глубине предложено использовать набор однотипных датчиков, расположенных на некотором расстоянии друг от друга и объединенных в отдельный класс GREBENKA. Этот класс содержит в качестве параметра ссылку на экземпляр класса PARAMETR для имитации процесса измерений с помощью набора датчиков. В классе GREBENKA имеются временные параметры, обеспечивающие дискретность опроса датчиков с заданным интервалом.

Класс EPURA предоставляет информацию о модели расположения турбулизированных слоев в исследуемой водной среде, на основании которой определяется режим опроса датчиков.

Диаграмма классов представлена на рис. 2.

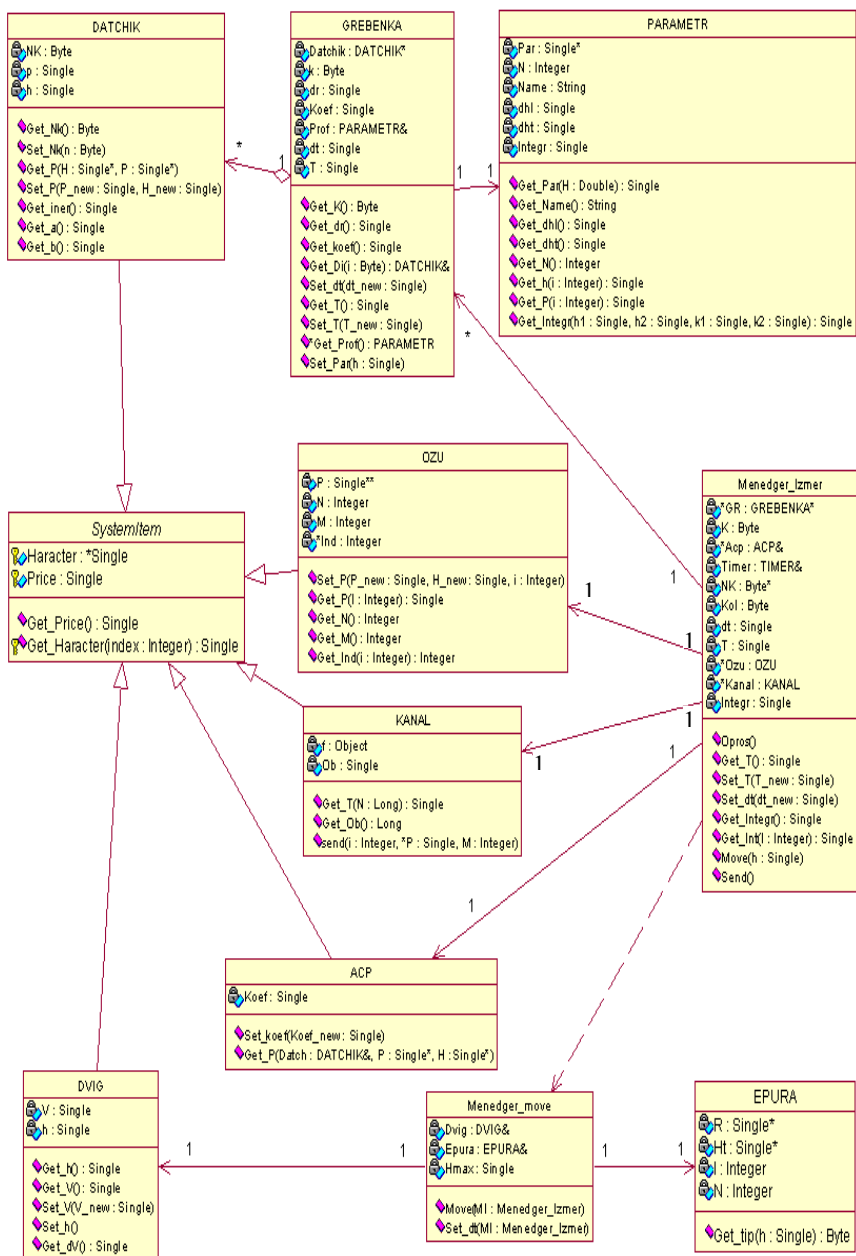


Рис. 2. Диаграмма классов информационно-измерительной системы мониторинга

Основные функции системы реализованы управляющими классами:

- класс "Menedger_move" имитирующий с помощью функции Move процесс зондирования, что выражается в изменении текущего значения глубины на величину $V \cdot dt$, где V – параметр объекта Dvig, dt – дискрет времени, заданный в системе. С помощью функции Set_dt на основании полученного значения глубины и по данным объекта Epara определяется тип слоя, а затем новая скорость движения и интервалы опроса измерителей;

- класс "Menedger_Izmer" содержит функции для получения информации о гидрофизических полях с заданным разрешением по глубине.

Для определения оптимальной структуры системы измерений необходимо: определить критерий эффективности функционирования системы; выполнить имитационное моделирование процесса измерений с целью получения значений критерия эффективности; сравнить характеристики различных структур системы.

Имитация процесса измерений. Имитация процесса измерений заключается в следующей последовательности действий:

Шаг 1. Инициализация параметров всех структурных элементов системы:

1. Исследователь определяет перечень измеряемых гидрофизических параметров N . В результате формируется соответствующее количество объектов PARAMETR, инициализация которых заключается в выборе файлов с вертикальными профилями; из выбранных файлов информация считывается в массивы объектов PARAMETR; по количеству измеряемых величин формируется количество объектов класса GREBENKA.

2. Задается количество датчиков k_i для измерения каждого гидрофизического параметра; на основании этого формируется необходимое количество объектов класса DATCHIK, определяется коэффициент усиления выходного сигнала измерительного устройства и расстояние между датчиками на объекте класса GREBENKA.

3. Для каждого объекта DATCHIK указывается номер канала подключения к мультимплексору, коэффициенты градуировочной характеристики (a и b), инерционность и стоимость; по соответствующему объекту PARAMETR рассчитываются значения на выходе датчика по формулам: $p = a \cdot zn + b$, где zn – значение измеряемого гидрофизического параметра для глубины $h = 0$.

4. Инициализируются параметры объектов классов:

- АСР: разрядность; диапазон входного преобразуемого аналогового сигнала; стоимость; количество каналов $KolK$, удовлетворяющее условиям:

$$KolK \geq \sum_{i=1}^N k_i; \quad KolK = 2^L, \quad \text{где} \quad L \geq \log_2 \sum_{i=1}^N k_i;$$

- DVIG: дискретность изменения скорости; стоимость; глубина равна 0;

– OZU: стоимость; разрядность массивов данных M рассчитывается по формуле $M = \frac{Ob}{N}$, выделяется память под массивы заданной длины,

обнуляется массив позиций в этих массивах;

– KANAL: скорость передачи; стоимость; объем переданной информации равен 0; открывается поток для вывода информации;

– Menedger_Izmer: инициализируется массив номеров опрашиваемых измерительных каналов, при этом параметр Kol равен общему количеству датчиков; обнуляется текущее время и погрешность измерений.

5. На основании вертикального профиля температуры и модели вертикальной структуры турбулизированных слоев [9] создается объект класса EPURA, описывающий распределение по глубине турбулизированных слоев.

6. Для объектов управляющих классов инициализируются ссылки на соответствующие объекты системы.

7. По данным объекта класса EPURA для значения текущей глубины определяется тип зондируемого слоя (ламинарный или турбулентный) и его толщина, что позволяет рассчитать дискретность опроса по глубине каждого типа датчика; определяются временные интервалы опроса датчиков (если система имеет регулируемый двигатель, то подбираются параметры как скорости зондирования, так и частоты опроса). Учитываются нижние граничные значения параметров элементов системы: минимально допустимая скорость зондирования и минимальная инерционность датчиков.

Шаг 2. Цикл опроса датчиков, который включает: получение данных от датчика, для чего вызывается функция Set_Koef класса ACP, которой передается значение коэффициента усиления показаний датчика, а затем функция Set_P класса ACP для сохранения в объекте класса показаний датчика. После этого рассчитывается новый момент опроса данного датчика. Полученные значения с помощью функции Get_P класса ACP преобразуются в квантованный сигнал, соответствующий измеренному значению. С помощью коэффициентов градуировочной характеристики выполняется пересчет к физическим величинам и выполняется функция Set_P класса OZU для сохранения результатов в соответствующем массиве данных, при этом указатель массива смещается на 2. Если массив заполнен, то вызывается функция Send класса KANAL. Переход к следующему датчику.

Шаг 3. Перемещение датчиков с помощью двигателя по глубине реализуется функцией Move класса Menedger_Move, в которой предусматривается: вычисление текущего времени и глубины; определение типа слоя функцией Get_tip класса EPURA; если тип слоя изменился, то необходимо изменить значения интервалов опроса датчиков и/или скорости зондирования, для этого из объектов класса PARAMETR выбирается значение, соответствующее дискретности измерения параметра по глубине в заданном слое и, исходя из значения скорости двигателя, определяется временной интервал опроса датчиков; для текущей глубины по вертикальным профилям

рассчитываются показания соответствующих датчиков с помощью функции `Get_Par` класса `PARAMETR`.

Шаг 4. Шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока не будет достигнута заданная глубина зондирования.

Шаг 5. Определение времени эксперимента и погрешности измерений. При достижении заданной глубины зондирования необходимо вызвать функцию `Select` класса `Menedger_send` для передачи по каналу связи остаточной информации из ОЗУ. Текущее время плюс время передачи последнего блока данных будет соответствовать времени проведения эксперимента. Точность измерения гидрофизических параметров получается в результате сравнения исходных и результирующих файлов вертикальных профилей. Объем полученной информации рассчитывается как сумма переданных буферов данных. Стоимость системы – это суммарная стоимость всех структурных элементов плюс стоимость проведения эксперимента.

Выводы. На основе объектно-эволюционной модели системы разработана диаграмма классов, содержащая описание всех объектов, определяющих структуру информационно-измерительной системы. Предложены дополнительные управляющие классы для описания взаимодействия объектов и имитации процесса зондирования. Таким образом, получено взаимосвязанное описание информационной системы, с помощью которого можно сравнить различные конфигурации систем мониторинга.

Список литературы: 1. Океанология. Средства и методы океанологических исследований / Г.В. Смирнов, В.Н. Еремеев, М.Д. Агеев и др. – М.: Наука, 2005. – 795 с. 2. А.С. 618754 СССР, МКИ² G 06 G 7/57. Устройство для вычисления параметров турбулентности / А.Д. Тищенко, А.А. Зори, Г.Д. Фесивский (СССР). – № 4508789. Заяв. 22.10.76. Оpubл. 05.08.78. – Бюл. № 29. 3. SEALOGGER CTD SBE 25, SBE 19, SBE 32 [Электронный ресурс]: Sea-Bird Electronics, Inc. – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.seabird.com/products/spec_sheets/25data.htm – Дата доступа: апрель 2006. – Загл. с экрана. 4. Результаты океанографических исследований северной части Тихого океана по программе INPOC (1990-1993) / Под ред. Г.И. Юрасова, В.В. Плотнокова. – Владивосток: Дальнаука, ТОИ ДВО РАН, 1998. – 116 с. 5. Островский А.Г. Мониторинг морской среды на шельфе и континентальном склоне с помощью заякоренной автоматической профилирующей системы "Аквазонд" / А.Г. Островский, А.Г. Зацепин, В.А. Деревнин и др. // XXII Международная береговая конференция "Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря". – 2007. – С. 85-91. 6. Швоев Д.А. Заякоренная автоматическая Система "Аквазонд для вертикального профилирования морской среды" / Д.А. Швоев // Международная академия наук "Динамика прибрежной зоны бесприливных морей". – Балтийск (Калининградская область). – 2008. – С. 23-26. 7. Семенов А.С. Использование объектно-эволюционного анализа при решении задач технологического типа / А.С. Семенов // Научно-практический журнал Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации Российской академии наук "Автоматизация проектирования". – 1998. – № 3 – С. 36-51. 8. Grady Booch. Object-Oriented Analysis and Design with Applications / Grady Booch // Second Edition. – Benjamin/Cummings, Redwood City, CA, 1994. – 206 p. 9. Савкова Е.О. Итерационная математическая модель параметров распределения тонкой структуры гидрофизических полей / Е.О. Савкова, А.А. Зори // Материалы восьмого международного научно-практического семинара "Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы". В 3-х т.: Т. 3. – Донецк, 2007. – С. 125-131.

УДК 004.045+004.942

Імітаційне моделювання процесу вертикального зондування гідрофізичних полів водного середовища / Савкова Е.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 162 – 169.

Розроблено класи об'єктів, що утворюють структуру інформаційної системи моніторингу гідрофізичних полів водного середовища. Опис класів включає параметри об'єктів, що впливають на склад і функціонування системи, і методи, що визначають дії з екземплярами класів. Запропоновано додаткові керуючі класи для опису взаємодії об'єктів і імітації процесу зондування. Лл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: моніторинг гідрофізичних полів водного середовища, інформаційна система моніторингу.

UDC 004.045+004.942

Imitating simulation of the aquatic environment hydrophysical fields vertical sounding process / Savkova E.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 162 – 169.

The classes of objects which form the structure of the informative system of monitoring of the hydrophysical fields of water environment are developed. Description of classes includes the parameters of objects, which influence on composition and functioning of the system, and methods which determine an action with the copies of classes. Additional managing classes are offered for description of co-operation of objects imitations of sounding process. Figs.:2. Refs.: 9 titles

Keywords: monitoring of the hydrophysical fields of water environment, informative system of monitoring.

Поступила в редакцію 23.05.2010

Ю.А. СКОБЦОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф. АСУ ДонНТУ (г. Донецк),

В.Ю. СКОБЦОВ, канд. техн. наук, доц. каф. АСУ ДонНТУ (г. Донецк),

НАССЕР ИЯД К.М., аспирант каф. АСУ ДонНТУ (г. Донецк)

ПРОВЕРЯЮЩИЕ ТЕСТЫ CROSSTALK НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Рассматривается проблема построения проверяющих тестов для "перекрестных неисправностей" типа Crosstalk, характерных для глубокого субмикронного проектирования элементной базы современных компьютерных систем. При решении поставленной задачи используется многозначное логическое моделирование и генетический алгоритм генерации проверяющих тестов для этих неисправностей. Ил.:1. Библиогр.: 15 назв.

Ключевые слова: crosstalk неисправности, проверяющие тесты, генетический алгоритм, многозначное логическое моделирование.

Актуальность. Современные технологии производства цифровых систем и их элементной базы требуют анализа не только константных, но и более адекватных неисправностей. В настоящее время используются более сложные модели неисправностей, таких как замыкания, "транзистор постоянно открыт", "транзистор постоянно закрыт", задержки распространения сигналов, наводки и т.п. [1].

Вследствие технологического прогресса, который ведет к увеличению плотности элементов на кристалле, росту числа пересечений проводящих слоев и повышению рабочей частоты, тестирования классических константных неисправностей в настоящее время явно недостаточно, поскольку необходимо анализировать физические дефекты, которые влияют на временные характеристики схемы. Особенно это характерно для глубокого субмикронного (deep submicron – DSM) проектирования. Увеличение числа транзисторов на кристалле ведет к тому, что большее количество элементов переключаются одновременно, что может уменьшить для них уровень напряжения и увеличить задержки распространения сигналов. При этом некоторые пересекающиеся линии, которые предполагались электрически изолированными, могут взаимодействовать друг с другом. Одно из подобных взаимодействий, вызванное паразитической емкостной связью между проводниками, называется "crosstalk" (перекрестная помеха), может привести к функциональным проблемам и ухудшить временные характеристики.

Обычно рассматриваются два основных типа перекрестных помех: 1) "crosstalk" индуцированные импульсы; 2) "crosstalk" индуцированные задержки. В первом случае быстро переключающаяся линия – "агрессор" (aggressor) может индуцировать короткий импульс на статической линии – "жертве" (victim). В зависимости от амплитуды и ширины эти импульсы могут оказывать существенное влияние на характеристики схемы.

Второй случай (индуцированные задержки) имеет место тогда, когда на линиях "агрессоре" и "жертве" происходят (почти) одновременные переходы сигналов. Если на обеих линиях переходы в одном направлении, то время перехода сокращается и, следовательно, уменьшается время задержки распространения сигналов. Этот эффект называется "перекрестным ускорением" ("crosstalk speedup"). Сильный "агрессор" может вызвать задержку распространения сигнала на линии-"жертве", которая имеет противоположное значение сигнала. Если на линиях "агрессоре" и "жертве" происходят переходы сигналов в противоположных направлениях, то время перехода увеличивается и имеет место эффект "перекрестного замедления" ("crosstalk slowdown"). Если вызванный шум на линии-"жертве" больше порогового напряжения или индуцированная задержка больше допустимой, то это может привести к логическим отказам или функциональным проблемам на соседних триггерах или выходах.

Перекрестные неисправности вызываются паразитическими наводками между соседними проводящими линиями, которые в общем случае имеют индуктивные и емкостные составляющие. Как правило, такие связи имеют малые значения индуктивности. Но в отдельных случаях, например, на высоких частотах для линий, непосредственно связанных с питанием или землей, которые имеют достаточно большую длину и ширину (сопротивление R соизмеримо с ωL), влияние индуктивной связи значительно и может порождать существенные токи. Но для информационных линий в схемах доминируют емкостные связи.

Анализ литературы. Работы по моделированию и тестированию неисправностей типа "crosstalk" ведутся с середины 90-х годов. Так в [2] предложен метод, который основан на поиске пары входных наборов, которые устанавливают определенное значение сигнала на линии-"жертве" и вызывают переход на линии-"агрессоре", который обеспечивает распространение влияния неисправности до одного из внешних выходов. В этой работе рассматриваются "crosstalk" индуцированные импульсы.

Авторы [3 – 5] разработали смешанный генератор тестовых сигналов XGEN для "crosstalk" индуцированных задержек. Они предложили смешанный метод генерации тестов, где при поиске двоичных наборов используется аналоговое моделирование, которое позволяет оценить задержки распространения сигналов. Используя преобразование Лапласа они получили выражения для неисправностей "crosstalk" в s -области, которые используются для анализа зависимости атрибутов импульса в схеме с сосредоточенными параметрами и временных характеристик фронтов. Статический временной анализ позволяет определить временные окна для входов и выходов элементов. Искомое временное окно находится в результате пересечения временных окон "агрессора" и "жертвы". Для заданной неисправности – определенной пары "агрессор-жертва" метод позволяет установить необходимые значения на взаимодействующих линиях и распространить

влияние неисправности до внешнего выхода. При генерации тестов используется 11-значный алфавит и модификация метода PODEM на этапе доопределения (justification). Разработанный алгоритм не гарантирует построение тестов вследствие ограничений для условий распространения эффектов неисправностей и используемой (11-значной) логической системы.

В [6] авторы развили модель задержки пути в комбинации с критическим путем и множеством источников взаимодействующих с этим путем. Здесь в качестве основы используется метод генерации тестов для неисправностей типа "задержка распространения сигнала" без фазы доопределения (justification). А на этапе доопределения (justification) применяется генетический алгоритм, который в процессе построения теста использует временные характеристики. Далее это направление получило развитие в [7], где предложено решение задачи построения тестов в случае многих "агрессоров", воздействующих на определенный путь. Здесь строится граф импликации, который учитывает логическую и структурную информацию схемы для проверки конфликтных ситуаций в процессе генерации тестов. При поиске тестовых наборов используется модификация метода PODEM.

Работа [8] посвящена тестированию неисправностей "crosstalk" – индуцированных задержек. Алгоритм построения тестов основан на генерации критических путей на основе статического временного анализа схемы. Критерий устойчивой тестируемости используется при проверке чувствительности путей. Для чувствительного пути активируются пары "агрессор-жертва" таким образом, чтобы максимизировать воздействие агрессора на путь и вызвать задержку распространения сигнала по этому пути.

В [9] предложен генератор тестов на основе единичной точной модели задержки. Здесь активизируется подпуть для выполнения условий переходов сигналов. Известная модель неисправности типа "задержка" модифицируется для тестирования индуцированных задержек. Для сокращения множества анализируемых неисправностей выполняется препроцессорная обработка для критических путей.

Авторы [10] разработали метод генерации тестов на основе PODEM. Для тестирования "crosstalk" необходимо подать на внешние входы необходимые переходы и обеспечить распространение влияния неисправности на внешний выход. Каждая из этих задач формулируется отдельно, а конечное решение получается в результате пересечения решений указанных подзадач.

В [11] при генерации тестов для "crosstalk" – индуцированных задержек используется алгоритм построения тестов для неисправностей типа "задержка", основанный на троичном алфавите, где неопределенное значение применяется для моделирования переходов сигналов, которые вызываются перекрестными неисправностями.

В работе [12] при решении задачи построения тестов для "crosstalk" применяется 0-1 целочисленное программирование на основе традиционных методов генерации тестов для константных неисправностей. Максимальная

активация агрессора формулируется в терминах линейного программирования, а распространение влияния неисправности решается традиционными средствами.

Следует отметить, что все вышеперечисленные работы при генерации тестов используют механизмы "возврата назад" по схеме, которые требуют значительных вычислительных ресурсов.

С другой стороны, существует группа методов, которые основаны на моделировании и не требуют "возврата назад". К ним относится, например, работа [13], где моделирование применяется для тестирования перекрестных неисправностей. Здесь используется алгоритм редакции для неисправностей-кандидатов, что позволяет получать компактное множество целевых неисправностей за счет исключения тех неисправностей, которые никогда не могут быть активированы и обнаружены. При этом используется последовательный симулятор для моделирования задержек путей. Кроме этого, используется аналоговая макромодель для вычисления задержек сигналов вследствие перекрестного взаимодействия. Здесь с каждой неисправностью ассоциируется одна пара агрессор-жертва. Входные наборы в процессе поиска генерируются случайным образом.

Авторы [14] предложили симулятор неисправностей, который включает одну линию-жертву и множество линий-агрессоров. При генерации тестов используется двоичное логическое моделирование и в качестве основы используются тесты для константных неисправностей. Следует отметить, что методы, основанные на моделировании, требуют хороших эвристик для генерации входных наборов и получаемые тестовые последовательности, как правило, имеют большую длину.

Постановка проблемы. При построении проверяющего теста для такой неисправности необходимо: 1) найти входные наборы, которые вызывают необходимый переход сигналов на линии-агрессоре: 2) найти входные наборы, обеспечивающие необходимый статический сигнал и линии-"жертве" и распространение возникшего импульса от жертвы до одного из внешних выходов. Пусть состояния линии-жертвы g и линии-агрессора h описываются двумя булевыми функциями от переменных, связанных с внешними входами, $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и $h(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Аналогично на каждом внешнем выходе реализуется булева функция $f(x_1, x_2, \dots, x_n, g, h)$, которая зависит как от внешних переменных $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, так и от внутренних переменных g, h . Отметим, что переменные внешних входов при тестировании рассматриваемой неисправности могут принимать только четыре значения "статический 0" ($0 \rightarrow 0$), "статическая 1" $s1$ ($1 \rightarrow 1$), передний фронт D' ($0 \rightarrow 1$) и задний фронт D ($1 \rightarrow 0$).

Для проверки перекрестной неисправности с положительным импульсом необходимы такие значения внешних входов, которые обеспечивают на линии-агрессоре передний фронт D' ($0 \rightarrow 1$), а на линии-жертве "статический

0" ($0 \rightarrow 0$). Тогда проблема построения теста для данной перекрестной неисправности сводится к поиску таких пар входных наборов, которые обеспечивают: (1) значение 0 на линии-жертве, (2) – значение D' на линии-агрессоре и (3) обеспечивает распространение влияния неисправности от линии-жертвы до одного из внешних входов.

Аналогично для проверки перекрестной неисправности положительным импульсом необходимы такие значения внешних входов, которые обеспечивают на линии-агрессоре задний фронт D ($1 \rightarrow 0$), а на линии-жертве "статическая 1" ($1 \rightarrow 1$). Рассмотрим комбинационную схему рис., где g и h – внутренние линии, из которых h является "агрессором" (воздействующей линией) и g – "жертвой". При построении проверяющего теста для такой неисправности необходимо: 1) найти входные наборы, которые вызывают необходимый переход сигналов на линии-агрессоре: 2) найти входные наборы, обеспечивающие необходимый статический сигнал на линии-"жертве" и распространение возникшего импульса от жертвы до одного из внешних входов, как показано на рис.

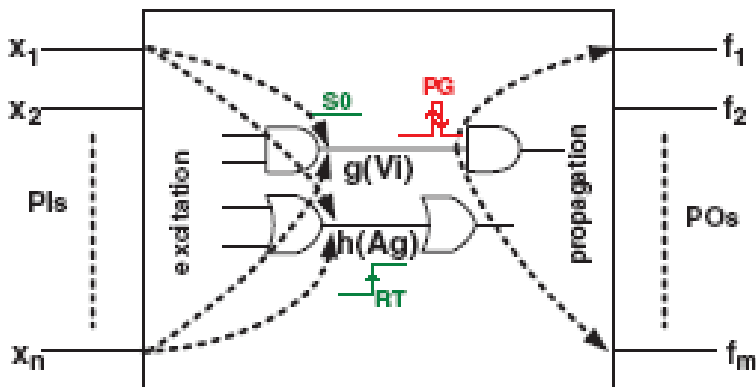


Рис. Неисправность "crosstalk" – перекрестная помеха.

Генетический алгоритм. Очевидно, что проверяющий тест для перекрестных неисправностей должен состоять из пар наборов, обеспечивающих приведенные выше условия. При поиске пар тестовых наборов можно использовать генетический алгоритм и многозначный алфавит [1]. При этом генетический алгоритм обеспечивает механизм направленного случайного поиска пар тестовых наборов, удовлетворяющих указанным условиям. На наш взгляд применение эволюционных методов при построении проверяющих тестов для таких неисправностей еще более оправдано, чем для классических константных неисправностей. Можно провести аналогию с решением задач численной оптимизации, где ГА целесообразно использовать,

прежде всего, там, где не работают классические градиентные методы. Следует отметить, что ГА часто позволяют задачу синтеза, в каком то смысле, свести к задаче анализа. Если есть средства анализа (моделирования поведения исправной или неисправной цифровой системы), то ГА обеспечивают целенаправленный случайный поиск решения задачи синтеза. При этом задачи синтеза и анализа могут выполняться на различных уровнях. Например, задача синтеза тестов может решаться на логическом уровне с использованием логической модели схемы, а задача анализа – на переключательном уровне (или с использованием модели электрических схем). Это позволяет строить тесты для новых типов неисправностей (практически для произвольных неисправностей, для которых есть соответствующая модель).

Для того, что использовать ГА при решении конкретной задачи прежде всего необходимо определить понятие особи, популяции, генетических операторов кроссинговера и мутации, фитнес-функцию, которая позволяет оценивать качество потенциального решения. Очевидно, что в качестве особи здесь целесообразно использовать пару входных наборов, множество которых составляет популяцию. Поскольку пара наборов представляется двоичной строкой, то можно использовать стандартные операторы кроссинговера и мутации [2], среди которых мы отдаем предпочтение однородному кроссинговеру. Для оценки значения фитнес-функции мы используем данные логического моделирования в многозначном алфавите [1], с помощью которого определяются новые неисправности, которые проверяются исследуемой парой входных наборов (потенциальным решением).

Выводы. Эксперименты для комбинационных цифровых схем показали, что применение ГА позволяет эффективно решать задачу построения тестов для "crosstalk" неисправностей и дают высокую полноту обнаружения. На следующем этапе будет решаться задача построения тестов для этих неисправностей для схем с памятью.

Список литературы: 1. Скобцов Ю.А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / Ю.А. Скобцов, В.Ю. Скобцов. – Донецк: ИПММ НАНУ, ДонНТУ, 2005. – 436 с. 2. Rubio. An approach to the analysis and detection of crosstalk faults in digital VLSI circuits / Rubio, N. Itazaki, X. Xu, K. Kinoshita // IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 1994. – Vol. 13. – №. 3. – P. 387–394. 3. Chen W.Y. Analytic Models for Crosstalk Delay and Pulse Analysis under Non-Ideal Inputs / W.Y. Chen, S.K. Gupta, M.A. Breuer // Proc.of the Int'l Test Conf. – 1997. – P. 809–818. 4. Chen W.Y. Test generation for Cross-Induced Delay in Integrated Ciccuits / W.Y. Chen, S.K. Gupta, M.A. Breuer // Proceedings of IEEE International Test Conference. – 1999. – P. 191–200. 5. Chen W.Y. Test generation for Cross-Induced Faults: Framework and computational results / W.Y. Chen, S.K. Gupta, M.A. Breuer // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. – 2002. – Vol. 16. – P. 17–28. 6. Krstic A. Delay Testing Considering Cross-Induced Effects / J. Krstic, J. Liou, Y.-M. Jiang, K.-T. Cheng // Proceedings of International Conference. – 2001. 7. Bai X. A Hybrid Structural SAT Based ATPG for Crosstalk / X. Bai, S. Dey, A. Krstic // Proceedings of International Conference. – 2003. – P. 112–121. 8. Arunachalam A. A Novel Algorithm for Testing Crosstalk Induced Delay Faults in VLSI Ciccuits / Aniket and R. Arunachalam // Proceedings of International Conference on VLSI Design. – 2005. – P. 479–484. 9. Li H. Selection of Crosstalk-induced Faults in Enhanced Delay test / H. Li, X. Li // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. – 2005. – Vol. 21. – № 2. –

P. 181–195. **10.** *Palit A.K.* Test Pattern Generation for Crosstalk Faults in DSM chips using Modified PODEM / *A.K. Palit, K.K. Duganapali, W.-TuZ Anheier.* – P. 41–45. **11.** *Sunghoon Chun.* XPDF-ATPG: An Efficient Test Pattern Generation for Crosstalk-Induced Faults / *Chun Sunghoon, Kim Yongjoon, Yang Myuang-Hoon, Kang Sungho* // 17th Asian Test Symposium. – 2008. – P. 83–88. **12.** *Kunal P. Ganeshpure.* On ATPG for Multiple Aggressor Crosstalk Faults in Presence of Gate Delays / *P. Ganeshpure Kunal, Kundu Sandir* // Proceedings of IEEE International Test Conference. – 2007. – P. 1–7. **13.** *Chary Shweta.* Automatic path delay test generation for combined Resistive Vias Resistive bridges and Capacitive Crosstalk delay faults / *Shweta Chary, L. Bushnell Michael* // Proceedings of the 19th International conference on VLSI Design. – 2006. – P. 413–418. **14.** *Phadoongsidhi Marong.* SCINDY: Logic Crosstalk Delay Fault Simulation in Sequential Circuits / *Marong Phadoongsidhi, K. Saluja Kewal* // 18th International Conference on VLSI Design held jointly with 4th International Conference on Embedded Systems Design (VLSID'05). – 2005. – P. 820–823. **15.** *Скобцов Ю.А.* Основы эволюционных вычислений / *Ю.А. Скобцов.* – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326 с.

УДК 681.32

Перевірятьні тести crosstalk несправностей на основі еволюційних методів / Скобцов Ю.О., Скобцов В.Ю., Нассер Іяд К.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 170 – 176.

Розглядається проблема побудови перевіряльник тестів для "перехресних несправностей" типу crosstalk, характерних для глибокого субмікронного проектування елементної бази сучасних комп'ютерних систем. При розв'язку поставленого завдання використовується багатозначне логічне моделювання й генетичний алгоритм генерації тестів, що перевіряють, для цих несправностей. Лл.: 1. Бібліогр.: 15 назв.

Ключові слова: crosstalk несправності, перевіряльні тести, генетичний алгоритм, багатозначне логічне моделювання.

UDC 681.32

Checking tests for crosstalk faults on the basis evolutionary methods/ Skobtsov Y.A., Skobtsov V.Y., Nasser Iyad K.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 170 – 176.

The problem of construction of checking tests is examined for the crosstalk faults, which are characteristic for the deep submicrometer design of element base for the modern computer systems. For a decision the set problem the multiple-valued logical simulation and genetic algorithm of generation of checking tests are used for these faults. Figs: 1. Refs: 15 titles.

Key words: crosstalk faults, checking tests, genetic algorithm, multivalued logic simulation.

Поступила в редакцію 29.05.2010

Ю.А. СКОБЦОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф. АСУ ДонНТУ (г. Донецк),

О.В. ЧЕНГАРЬ, аспирант, ассистент каф. АСУ ДонНТУ (г. Донецк)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ

Рассматривается задача оптимизации оперативного планирования машиностроительного предприятия на основе муравьиных алгоритмов, выбраны критерии оптимизации. Предложен граф для моделирования работы участка и нахождения оптимальных расписаний работы оборудования. Исследовано влияние основных параметров муравьиных алгоритмов таких, как начальное расположение и мощность популяций муравьиных колоний для партий деталей и т.п. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: машиностроительное предприятие, оптимальное расписание, граф, муравьиные алгоритмы.

Постановка проблемы и анализ литературы. Автоматизация отделочного и вспомогательного оборудования с использованием современных компьютерных технологий, в условиях бурного развития машиностроения, является одним из основных направлений технического прогресса в машиностроении [1, 2]. Современные тенденции предлагают использовать на производственных участках машиностроительных предприятий автоматизированные системы, способные реализовывать различные технологические операции. Это оборудование должно обеспечивать выполнение заданной номенклатуры технологических операций на участке в установленный срок и иметь способность оперативно реагировать на смену состояния оборудования.

Проблемы оперативного планирования машиностроительных предприятий исследуются достаточно давно [1, 3]. Но до сих пор мало исследовано движение партий деталей непосредственно в производственной среде (на производственном участке) в соответствии с технологическим маршрутом в реальном масштабе времени. С внедрением в производство нового технологического оборудования, актуальным становится использование всех его возможностей [3]. В частности, актуальной задачей является построение оптимальных расписаний работы технологического участка, в соответствии с технологическим маршрутом. Большинство разработанных до настоящего времени методик для оперативно-календарного планирования основано на упрощенных моделях, что снижает их практическую значимость, или эти методики применены лишь для определенных специфических условий [4]. Значительную сложность, кроме того, представляет проблема оценки качества получаемых расписаний. Анализ современных работ по комбинаторной оптимизации на графах (особенно

динамических задач) показывает, что одним из самых перспективных подходов является использование муравьиных алгоритмов [5 – 10]. Этот подход позволяет существенно улучшить систему оперативного планирования, тем самым, сократив время получения оптимальных или приемлемых производственных расписаний. Динамические задачи (с изменением данных в процессе решения) позволяют учесть проявление случайных событий, что дает возможность быстро реагировать на смену ситуации и вносить коррективы в исходные данные [6].

Для обеспечения высокой эффективности работы производственных участков и максимального использования возможностей оборудования, необходимо создавать (суб)оптимальное расписание работы оборудования на основе избранных критериев оптимизации [1, 2]. На этой основе можно разработать компьютерную подсистему оперативного планирования работы производственного участка машиностроительного предприятия.

Цель статьи – повышение эффективности работы производственного участка машиностроительного предприятия за счет оптимизации оперативно-календарного планирования на основе метода муравьиных колоний.

Математическая постановка задачи оптимизации оперативно-календарного планирования. Для календарного планирования технологический процесс разделяется на технологические операции [4]. Допустим, что на данном производственном участке обрабатывается n партий деталей d_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Обозначим некоторую произвольную операцию, которую необходимо выполнить над деталью d_i , через O_{ij} ($j = 1, 2, \dots, m_i$), где m_i – общее количество операций, которые необходимо выполнить над d_i . Каждая операция O_{ij} однозначно определяется парой $O_{ij} = (l_{ij}, T_{ij})$, где l_{ij} – номер группы оборудования, на котором может быть выполнена операция O_{ij} ; T_{ij} – продолжительность выполнения операции на некотором эталонном для данной группы оборудования рабочем месте. Под технологическим маршрутом детали обычно понимают порядок прохождения детали оборудованием в процессе обработки или же последовательность выполняемых операций (1)

$$M_i = (O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{im_i}). \quad (1)$$

При последовательном выполнении операций предусматривается строгая упорядоченность технологического маршрута. Однако можно допустить, и это часто соответствует действительности, что порядок выполнения операций изменяется (не является строгим), то есть упорядоченность выполнения операций частична. Операция O_{ij} должна выполняться без перерыва с самого начала. Если обозначить через t_{ij} – время начала обработки операции O_{ij} , а через $*t_{ij}$ момент окончания обработки операции, то для эталонного станка всегда должно выполняться условие (2)

$$*t_{ij} = t_{ij} + T_{ij}. \quad (2)$$

Очевидно, что время начала обработки операции должно зависеть от времени выполнения предыдущих операций. В частности, для технологического маршрута, заданного в виде уравнения (1), всегда должно выполняться неравенство (3)

$$t_{ij} < t_{ij+1}. \quad (3)$$

Для упрощения решения заданий календарного планирования будем считать, что на каждом рабочем месте не может выполняться более одной операции одновременно. Т.е. ни для каких двух операций O_{i1j1} и O_{i2j2} не может выполняться неравенство (4).

$$t_{i1j1} < t_{i2j2} < *t_{i1j1}. \quad (4)$$

Одно из основных заданий оперативного планирования заключается в том, чтобы для производственного участка с заданными технологическими маршрутами обработки деталей составить некоторое расписание, удовлетворяющее сформулированным условиям, которое можно представить в виде графа [4]. Очевидно, построение такого графа эквивалентно определению чисел t_{ij} – моментов начала операции O_{ij} . Таким образом, величины t_{ij} и O_{ij} являются неизвестными в нашем задании и их необходимо найти, исходя из приведенной формулировки задания с учетом ограничений (3) – (4).

Совокупность чисел $\{t_{ij}\}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m_i$), которые удовлетворяют сформулированным условиям и ограничениям, будем называть в дальнейшем расписанием работы производственного участка, или его графом, и помечать символом G . Графом $G(i)$ обработки детали d_i будем называть совокупность чисел $\{t_{ij}\}$ ($j = 1, 2, \dots, m_i$).

Очевидно, что существует бесчисленное множество графов, которые удовлетворяют сформулированным условиям и ограничениям. Таким образом, возникает задача построения некоторого наилучшего графа в соответствии с избранным критерием. Для решения задачи составления оптимального расписания необходимо задаться некоторой числовой функцией F (функцией-критерием), определенной на всех графах $G(i)$, что ставит в соответствие каждому графу G определенное число $F(G)$. При этом наилучшему графу должен соответствовать экстремум функции F . Таким образом, задача сводится к тому, чтобы построить граф, который удовлетворяет всем сформулированным в задании условиям и ограничениям, на котором функция $F(G)$ достигнет своего экстремального значения (5)

$$F(G) = \text{extr } F(G). \quad (5)$$

Применение муравьиного алгоритма для оптимизации оперативного планирования работы производственного участка. Особенностью поставленной задачи является то, что необходимо найти не один путь (маршрут прохождения деталей по участку), а множество путей с тем, чтобы они давали бы наилучший результат.

Для решения задачи с использованием муравьиного алгоритма, необходимо:

1) Соответствующее представление в виде графа для описания дискретного пространства поиска. Граф должен представлять все состояния и переходы между ними.

2) Определить правила коррекции концентрации феромона, которые определяют положительную обратную связь в процессе.

3) При необходимости разработать эвристику для определения преимущества дуги в графе.

4) Определить эвристику поведения муравья при построении решения в виде вероятности перехода.

5) Определить средство проверки потенциального решения с учетом ограничений задачи.

6) Определить основные параметры муравьиного алгоритма (число искусственных муравьев и т. п.).

Для задачи календарного планирования можно составить следующий граф. Вершины – единицы оборудования, на которых выполняются операции над деталью. Ребра – суммарное время, которое ожидает деталь до перехода к следующей вершине. Это время обработки на текущем оборудовании плюс время ожидания освобождения следующего оборудования (время переналадки оборудования, время перехода, ...). Таким образом, был получен граф, представленный на рисунке.

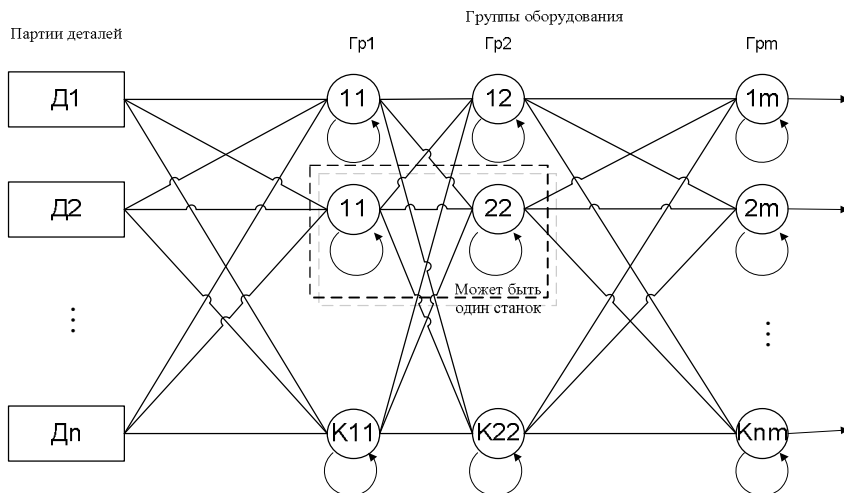


Рис. Граф для задания оперативного планирования производственного участка

Таким образом, для каждой партии деталей, необходимо провести цикл поиска оптимального плана, с учетом найденных ранее соотношений.

Эвристическая информация для определения преимущества дуги в графе может быть представлена в различной форме и зависит от задания [6]. Например, для выбора кратчайшего пути можно использовать формулу (6)

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}, \quad (6)$$

где d_{ij} – расстояние между вершинами i и j .

Очевидно, что в этом случае преимущество предоставляется короткой дуге, которая выходит из вершины i . В нашей задаче расстояние между вершинами i и j определяется выражением (7)

$$d_{ij} = T_{\text{осв}} + T_{\text{нал}} + kT_{\text{обр}} + T_{\text{тр}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{осв}}$ – время, освобождение группы оборудования для избранных деталей; $T_{\text{нал}}$ – время, необходимое для переналадки оборудования; k – количество деталей в партии; $T_{\text{обр}}$ – время, необходимое для обработки одной детали на оборудовании; $T_{\text{тр}}$ – время транспортировки партии деталей до избранного станка.

В зависимости от выбора критериев оптимизации эвристическая информация может быть различной, поэтому расчет расстояния между вершинами графа может отличаться. Если необходимо минимизировать пребывание деталей на складе, то необходимо учитывать только время перехода на другую единицу оборудования, без учета возможности обработки.

Учет концентрации феромона на дугах графа определяется соответственно избранной эвристики (7). При этом муравей избирает не тот узел (оборудование), который раньше освободится, чтобы иметь возможность принять на обработку партию деталей, а тот, на котором его партия скорее закончит обработку [10]. Это расширяет круг поиска и позволяет найти оптимальное решение. В процессе решения концентрация феромона на дугах графа изменяется каждым муравьем. При переходе на следующий узел, муравей откладывает феромон в соответствии со следующим правилом

$$\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij,k}(t), \quad (8)$$

где $\Delta\tau_{ij,k}(t) = \frac{1}{L_k(t)}$, $L_k(t)$ – длина дуги графа.

Испарение феромона в этом случае не учитывается. Это обусловлено тем, что необходимо найти несколько маршрутов, которые вместе давали бы лучший результат работы. Исходя из этой особенности, нежелательно, чтобы один муравей проходил весь маршрут с первой по последнюю операцию. Потому что при поиске маршрутов с начала до конца, не учитывая существования других партий деталей, в результате получим наложение маршрутов одного на другой, что противоречит математической постановке

задачи составления оптимального расписания [7, 8, 10]. Так как после выбора следующего узла всеми муравьями системы, будет избрана дуга с максимальной концентрацией феромона, все муравьи партии с минимальным временем освобождения для данной дуги перейдут на следующий узел. После чего матрица феромона обновляется и поиск начинается заново для других партий деталей, пока все партии не перейдут на следующий узел. Этот процесс продолжается, пока все партии деталей не пройдут обработку на данном технологическом участке, в соответствии с технологическим маршрутом.

Вероятность перехода муравья из вершины i в вершину j определяется следующим соотношением:

$$P_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}(t)]^\beta}, & \text{если } j \in J_{i,k}, \\ 0, & \text{если } j \notin J_{i,k}, \end{cases} \quad (9)$$

где α – коэффициент значимости концентрации феромона; β – коэффициент значимости эмпирической информации; $\tau_{ij}(t)$ – концентрация феромона на дуге графа; $\eta_{ij}(t)$ – эвристическая информация; $J_{i,k}$ – множество доступных для посещения вершин (оборудование, на котором может быть выполнена следующая технологическая операция, в соответствии с технологическим маршрутом). В ходе работы разработана функциональная структура подсистемы и создано информационное и программное обеспечение. Для разработки специального программного обеспечения избрана распространенная объектно-ориентированная среда программирования Builder 6. Проведено исследование построенной модели. Экспериментально доказана результативность разработанного алгоритма.

Выводы. Календарное планирование, которое составляет основу оперативного управления предприятием, является очень трудоемкой задачей. В традиционном подходе решения этой задачи есть существенные недостатки, потому предложено применение новых методов, которые основываются на системах искусственного интеллекта, позволяющих создавать более гибкие модели, чем методы статистической обработки информации. На основе анализа существующих разработок в области эволюционных методов перспективным является решение сложных комбинаторных задач оптимизации (особенно динамических задач) с использованием муравьиного алгоритма. Это позволяет существенно улучшить систему оперативного планирования, тем самым, сократив время получения оптимальных или приемлемых производственных расписаний. Кроме этого, учет появления случайных событий, которые влияют на процесс производства, позволяет быстро реагировать на смену и внесение корректив в выходные данные.

Рассмотрено применение муравьиного алгоритма для решения задачи оптимизации работы производственного участка машиностроительного

предприятия. Описана математическая постановка задачи, избраны критерии оптимизации. Предложен граф для моделирования работы участка с целью поиска оптимальных расписаний работы оборудования. Проанализированы и учтены особенности поставленной задачи, предложен способ объединения строгой последовательности операций с возможностями автоматизированных систем. Определены эвристические знания для выбора следующего узла графа, определены правила перехода. Компьютерный эксперимент подтвердил эффективность предложенных решений.

Список литературы: 1. Сачко Н.С. Организация и оперативное управление машиностроительным производством / Н.С. Сачко. – Минск: Новое знание, 2005. – 635 с. 2. Тюленев Л.В. Организация и планирование машиностроительного производства: Учебное пособие / Л.В. Тюленев. – СПб: Бизнес-пресса, 2001. – 304 с. 3. Михайлова Л.В. Формирование и оперативное управление производственными системами на базе поточно-группового производства в автоматизированном режиме / Л.В. Михайлова, Ф.И. Парамонов, А.В. Чудин. – М.: ИТЦ МАТИ, 2002. – 60 с. 4. Маляренко И. Планирование и оптимизация / И. Маляренко // Корпоративные системы. – 2006. – № 27. – С. 29-32. 5. Люггер Дж.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем / Дж.Ф. Люггер. – М.: Вильямс, 2005. – 864 с. 6. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений: учебное пособие / Ю.А. Скобцов. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326 с. 7. Dorigo M. Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization // Reader for CEU Summer University Course "Complex System". – Budapest, Central European University, 2001. – P. 1–38. 8. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов / Дж. МакКоннелл. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с. 9. Bryant K. Genetic Algorithms and the Traveling Salesman Problem / K. Bryant, A. Benjamin. – Department of Mathematics, HarveyMudd College, 2000. 10. Ant Colony Optimisation [Электронный ресурс]: Dr Jonathan Thompson, School of Mathematics, Cardiff University. – Электронные данные. – Режим доступа: www.orsoc.org.uk/region/regional/swords/swords.ppt – Дата доступа: февраль 2010. – Загл. с экрана.

УДК 004.942

Оптимізація роботи виробничої ділянки машинобудівного підприємства на основі методу мурашиних колоній / Скобцов Ю.О., Ченгар О.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", – 2010. – № 31. – С. 177 – 183.

Розглядається задача оптимізації оперативного планування машинобудівного підприємства на основі мурашиних алгоритмів, обрані критерії оптимізації. Запропонований граф для моделювання роботи ділянки і знаходження оптимальних розкладів роботи обладнання. Досліджений вплив основних параметрів мурашиних алгоритмів таких, як початкове розташування і потужність популяцій мурашиних колоній для партій деталей тощо. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: машинобудівне підприємство, оптимальний розклад, граф, мурашині алгоритми.

UDC 004.942

Machine-building enterprise production work area optimization on the basis of ant colony method / Skobtsov J.A., Chengar O.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 177 – 183.

The problem of the machine-building enterprise operative planning optimization is defined with the use of ant algorithms. The criteria of optimization are chosen. A graph for modeling of area work and finding of optimum timetable of equipment work is offered. Basic parameters of ant algorithms such, as an initial location and power population of ant colonies for parties of details, is researched. Figs: 1. Refs: 10 titles.

Key words: machine-building enterprise, optimum timetables, graph, ant algorithms.

Поступила в редакцію 29.052010

Д.М. ЧАБАНЕНКО, асп. Черкаського національного університету
ім. Богдана Хмельницького.

ВИЯВЛЕННЯ КОРОТКОЧАСНОЇ ТА ДОВГОТРИВАЛОЇ ПАМ'ЯТІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ МЕТОДАМИ СКЛАДНИХ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА

В статті запропоновано нові методи прогнозування часових рядів, суттєвими відмінностями яких є використання складних ланцюгів Маркова з пам'яттю. Проведено експериментальну роботу та зроблені висновки щодо можливості прогнозування часових рядів запропонованими методами. Основну увагу приділено обґрунтуванню кроків алгоритму та аналізу отриманих результатів прогнозування. Також запропоновано методичку оцінювання можливої похибки прогнозів на основі аналізу дисперсії процесу, що моделюється. Наведені результати прогнозування індексів фондових ринків, таких як Dow Jones та інших. Іл.: 1. Бібліогр.: 17 назв.

Ключові слова: прогнозування, часові ряди, складні ланцюги Маркова, індекси фондових ринків.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Прогнозування часових рядів – важлива, до кінця не розв'язана на сьогодні проблема. Незважаючи на велику кількість публікацій, все ще залишаються нерозв'язані питання, зв'язані з природою рядів, що аналізуються, видокремленням систематичних рис, наявних в ряді, від випадкових та інші. Насьогодні популярним є поділ трейдерів на фундаменталістів і техніцистів (чартистів) [1]. Ідея фундаменталістів базується на існуванні справедливої ціни акцій, навколо якої коливаються котирування. Прихильники фундаментального аналізу використовують багатовимірний регресійний аналіз [2] для дослідження впливу різноманітних зовнішніх факторів на справедливую ціну, а отже і на спектр наявних цін на ринку. Відхилення від фундаментальної ціни вважається випадковими та не беруться до уваги. На відміну від фундаменталістів, прихильники технічного аналізу базуються на положенні, що історія руху ціни містить усю необхідну інформацію для дослідження системи, отже їх моделі використовують трендові [3] або авторегресійні (AR) моделі [4] для прогнозування майбутніх значень ціни. Варто згадати розширення регресійних і авторегресійних моделей методом групового врахування аргументів та його узагальнення для нечітких даних у роботі [5]. У класичних авторегресійних моделях використовуються лінійні залежності між лаговими змінними та прогнозним значенням. Але така функція також може бути складною та нелінійною [6], побудованою за нейромережевим принципом: так звані NARX та NARMAX-моделі [7], які є нейромережевим аналогами моделей AR та ARMA. На даний час в задачах обробки нелінійних часових рядів найбільше розповсюдження отримали три типи рекурентних нейронних мереж: мережі Вільямса-Зіпсера [8], Елмана [9] та Джордона [10]. Нейронні мережі безперечно є одним з перспективних шляхів у задачах прогнозування, хоча їх

практичне використання у бізнесі зв'язане з труднощами, так як необхідна попередня обробка даних для вибору входів системи, специфікація структури моделі, довготривале навчання та наявні помилки в найвідповідальніші моменти розвернення тренду [11]. Тому задача пошуку, конструювання та ідентифікації адекватних прогностичних моделей, стійких до шуму, є актуальною.

Ланцюги Маркова, як прості так і складні, відносяться до моделей випадкових процесів, в яких наявна пам'ять. Марківські процеси займають проміжне положення між випадковими процесами, в яких ймовірності наступного стану не залежать від передісторії, та детермінованими процесами, в яких майбутнє повністю визначається передісторією. Прості ланцюги Маркова широко розглянуті в літературі, наприклад [12], займають значне місце в теорії випадкових процесів. Що стосується складних, або ланцюгів Маркова з пам'яттю, то їх розгляд у літературних джерелах є менш популярним, через складнощі аналізу їх властивостей. Ефективним підходом є зведення складних ланцюгів Маркова до простих за допомогою узагальнення формалізації стану досліджуваної системи [13].

Ідея використання ланцюгів Маркова у задачах прогнозування часових рядів, розглядається у роботах [14], де пропонується ймовірнісна модель зв'язку прихованого марківського процесу з явними значеннями величин, які спостерігаються та породжуються вищезгаданим марківським процесом. В роботах пропонується алгоритми оцінювання параметрів марківського процесу (ймовірностей переходів, початкової ймовірності стану системи) та параметрів зв'язку явних станів та прихованих. Алгоритми є ітераційними і базуються на максимізації адекватності моделі, яка будується, даним, на яких відбувається навчання. Суттєвим недоліком вищенаведеного підходу, на нашу думку, є використання простого ланцюгу Маркова, який не враховує передісторію. В роботах [15] пропонується модернізація підходу прихованих марківських моделей для ланцюгів Маркова вищих порядків, які враховують пам'ять ряду та мають більші прогностичні можливості. Але визначення прогнозової ціни як математичного сподівання прогнозного розподілу ймовірностей не дає можливості розрізнити невизначеності та біфуркації.

В роботах [16] пропонується метод прогнозування часових рядів на основі складних ланцюгів Маркова. Однією з переваг запропонованого алгоритму є використання ієрархії часових приростів, яка дозволяє здійснити прогнозування на різних частотних рівнях, та процедури "склеювання", яка дає можливість поєднати прогнози з різною дискретизацією значень, у один ряд прогнозу. Серед недоліків можна назвати надавання великого значення переходам з максимальною ймовірністю, ігноруючи при цьому менш ймовірні прогнозні сценарії, ймовірність яких відрізняється незначно, але характер кривої є суттєво іншим. Такі ситуації практично відсутні при прогнозуванні рядів з високою детермінованістю, таких як регулярні коливання, ряди, породжені моделями детермінованого хаосу та деякі інші. Переважна

більшість реальних рядів має невизначеності, які спричинюють похибки прогнозів та, на жаль, не розроблені методи їх оцінювання з ціллю здійснення передпрогнозного аналізу та оцінювання можливості їх прогнозування методами СЛМ та оцінювання можливих похибок прогнозів.

Ціль статті, постановка задачі. Задано часовий ряд $\{y_t\}$ з проміжком дискретизації Δt . Побудувати ряд-продовження вихідного часового ряду, який проходить через найбільш імовірні точки майбутнього продовження ряду, виявлені на основі методу складних ланцюгів Маркова (СЛМ). Розробити методи оцінювання можливих похибок прогнозування.

Основна частина. В роботі [16] запропонована методика прогнозування часових рядів на основі СЛМ.

Ланцюги Маркова першого порядку дають можливість змодельовати досліджуваний процес та визначити ймовірності станів через n кроків

$$P_{t+n} = A_n P_t, \quad (1)$$

де P_{t+n} – ймовірності станів в момент часу $t+n$; P_t – початковий розподіл (вектор) ймовірностей в момент часу t ; A_n – матриця ймовірностей переходів між станами.

У задачах прогнозування часових рядів важливим питанням залишається кодування станів у дискретному ланцюгу Маркова. Зв'язування станів найбільш доцільно здійснити з абсолютними (або відносними) змінами вхідного ряду:

$$R_t = (p_t - p_{t-\Delta t}) \text{ або } R_t = (p_t - p_{t-\Delta t})/p_t, \quad (2)$$

де R_t – прибутковість ряду в дискретний момент часу; p_t – ціна в момент часу t ; $p_{t-\Delta t}$ – попереднє значення ціни в момент часу $t - \Delta t$.

Відомо, що математичне сподівання ряду R_t дорівнює нулю, а дисперсія має специфічну властивість, яка називається кластеризація волатильності. Дисперсія раптово зростає через певні неочікувані різкі зміни досліджуваного ряду, що можливо пов'язане з кризовими явищами.

Розподіл щільності ймовірностей прибутковості дає змогу здійснити класифікацію станів системи, згідно зі значеннями прибутковостей. Визначення меж кожного класу дає можливість задавати оператор перетворення дійсних значень прибутковостей у натуральні номери дискретних станів

$$R_t \rightarrow s_t \quad (3)$$

Для дискретної послідовності станів $\{S_t\}$ $t = 1, \dots, n$ оцінюються ймовірності переходів між станами (коефіцієнти a_{ij} матриці перехідних ймовірностей A):

$$a_{ij} = P(s_{t-1} = i, s_t = j), \quad i, j = 1, \dots, s_{max}. \quad (4)$$

Дана матриця ймовірностей і буде використовуватись в прогнозуванні. В роботі [17] нами запропонована технологія, згідно якої на кожному наступному кроці вибирається стан з максимальною ймовірністю, який у подальшому прогнозуванні вважається тим, що уже відбувся. Таким чином ігноруються стани, які мають ймовірності, нижчі за максимальну. Для подолання можливих помилок, які з цим пов'язані, пропонується система правил, які дозволяють уточнити майбутній стан, базуючись на кластерній організації функції розподілу щільності ймовірності.

При використанні системи станів (3), пов'язаних з прибутковостями, пряме використання формули (1) не є корисним, оскільки прогнозується значення ряду, а не стан ланцюга Маркова. Очевидно, що кожна послідовність станів $\{S_i\}$ довжиною n відповідає певному рівню величини, що прогнозується $y(t_{last} + n\Delta t)$ через n кроків з вибраною дискретизацією Δt . Ймовірність певної послідовності станів (шляху до точки $y(t_{last} + n\Delta t)$) можна визначити за формулою (1), таким чином, для усіх можливих послідовностей $\{S_i\}$ $i = 1, \dots, n$ та відповідних шляхів значень величини, що прогнозується, можна поставити у відповідність ймовірність того чи іншого сценарію прогнозу.

В роботах [16, 17] нами пропонувалось розглядати лише сценарії з найбільшою ймовірністю, ігноруючи при цьому менш ймовірні. Також, приймаючи на кожному кроці сценарій (наступний стан) з максимальною ймовірністю, ми виходили з припущення, що кроки з меншою ймовірністю для моменту часу t також не матимуть пріоритет в наступні моменти часу $t+i$. Для перевірки вищезазначених положень можна порівняти прогноз за технологією СЛМ та довірчі інтервали відхилення інтервального прогнозу чи за технологією СЛМ від діапазону запропонованого розширеного алгоритму.

Основна мета даного дослідження полягає у оцінці достовірності прогнозів, отриманих методикою [16, 17] та виявлення критеріїв застосування даної методики до рядів того чи іншого походження.

Отже, ймовірність сценарію прогнозу $S = \{s_i\}$ $i = 1, \dots, n$ визначається за формулою:

$$P_S = \prod_{t=1}^{n_{progn}} P(s_t) = \prod_{t=1}^{n_{progn}} P(s_{t-1}) \cdot P(s_t | s_{t-1}), \quad (5)$$

де s_t – узагальнений стан в момент t ; $P(s_t)$ – ймовірність стану s_t в момент t , яку можна визначити з (1) як відповідну компоненту вектору P_t .

Оскільки під сценарієм ми розуміємо певну траєкторію динаміки показника, що прогнозується, то обернене перетворення станів, зв'язаних з приростом ряду, у прогнозі значення ряду може бути здійснене:

$$y_t = y_{t-1} + R_t \quad (6)$$

для абсолютних та відносних приростів відповідно, де R_t – спрогнозовані прирости, які відповідають прогнозній послідовності станів ланцюга Маркова.

Різні траєкторії можуть проходити через спільні точки. Можна обчислити ймовірність того, що через n кроків показник матиме певне значення (зупиниться в певній точці). Ймовірності значень на основі ймовірностей сценаріїв можна обчислити так:

$$P(y_t = y) = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} -\text{sign}(|y_t^i - y| - \delta)}{N_s} = F(t, y). \quad (7)$$

Таким чином, для кожного дискретного моменту часу t маємо функцію розподілу ймовірностей $F(y)$. Узагальнюючи отриманий розподіл, переходимо до математичного сподівання та стандартного відхилення прогнозу, а також виділити емпіричну моду та квантілі.

Експериментальні результати. Апробація алгоритму була виконана на рядах фінансово-економічної динаміки, зокрема на фондових індексах Dow Jones, S&P 500 та інших. Прогнозування здійснювалось з обчисленням прибутковостей при різних проміжках дискретизації Δt . На рис. 1 зображена множина найбільш ймовірних сценаріїв динаміки індексу S&P 500 для дискретизації $\Delta t = 1$. Прогноз здійснювався на 8 днів (точки 50 – 58 на графіках).

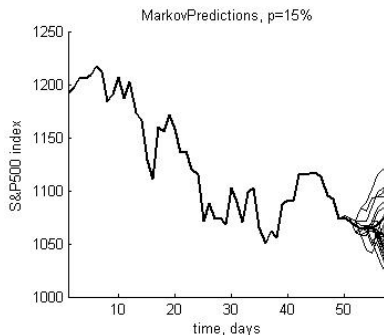


Рис. 1. Прогнозні сценарії індексу S&P 500.

На графіку рис. 1 показані прогнозовані сценарії, які мають найбільшу ймовірність. Товстою суцільною лінією зображений прогноз за технологією СЛМ, який відповідає одному найбільш ймовірному сценарію.

Дані результати свідчать про високий рівень невизначеності індексу фондового ринку S&P 500, хоча з великою впевненістю прогнози показують падіння протягом перших двох днів. Для порівняння прогнозувались детерміновані сигнали, такі як синусоїди, як приклад періодичного сигналу, та динамічного ряду моделі "хижак-жертва".

Для рядів з високою детермінованістю алгоритм породжує значно менше прогнозних сценаріїв, та їх траєкторії є близькими одна до одної.

Висновки. В даній роботі запропоновано метод прогнозування часових рядів на основі виявлення пам'яті в часовому ряді. Головною перевагою запропонованого методу використання складних ланцюгів Маркова з пам'яттю, на відміну від простих ланцюгів Маркова. Також варто зазначити більш швидке, порівняно з неймережевими методами, навчання моделі, а також можливість оцінки можливої похибки прогнозу за допомогою оцінки невизначеності даних та моделі на основі оцінювання дисперсії прогнозу. Результати показують, що прогноз за технологією СЛМ знаходиться у межах середньоквадратичних відхилень розподілу та близько до модальних значень, що означає, що запропонований метод дає оцінку точності методу СЛМ.

Список літератури: 1. *Samanidou E.* Agent-based Models of Financial Markets [електронний ресурс] / *E. Samanidou, E. Zschischang, D. Stauffer, T. Lux* // Arxiv:physics/0701140v1. – 2007. – Режим доступу: <http://arxiv.org/> 2. *Четыркин Е.М.* Статистические методы прогнозирования / *Е.М. Четыркин*. – М.: Статистика, 1977. – 200 с. 3. *Yaffee Robert A.* Introduction to time series analysis and forecasting / *Robert A. Yaffee, Money McGee* // New York: Academic press inc. – 2000. – 528 p. 4. *Бокс Дж.* Анализ временных рядов. Прогноз и управление / *Дж. Бокс, Т. Дженкинс*. – М.: Мир, 1974. – 242 с. 5. *Зайченко Ю.П.* Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: учеб. пособие для иностр. студ. вузов, направления "Компьютерные науки" / *Ю.П. Зайченко*; [М.З. Згуровский (общ.ред.)]. – К.: Слово, 2008. – 344 с. 6. *Петерс Э.* Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка / *Э.Петерс*. – М.: Мир, 2000. – 333 с. 7. *Mandic D.P.* Recurrent Neural Networks for Prediction / *D.P. Mandic, J.A. Chambers*. – Chichester: John Wiley&Sons, 2001. – 285 p. 8. *Williams R.J.* A Learning Algorithm for Continually Running Fully Recurrent Neural Networks / *R.J. Williams, D. Zipser* // *NeuralComputation*. – 1989. – № 1. – P. 270-280. 9. *Elman J.L.* Finding structure in time / *J.L. Elman* // *Cognitive Science*. – 1990. – № 14. – P. 179-211. 10. *Jordan M.* Constrained supervised learning / *M. Jordan* // *Journal of Mathematical Psychology*. – 1992. – № 36. – P. 396-452. 11. *Біліловець О.С.* Неймережеве прогнозування в сфері електронної комерції / *О.С. Біліловець* // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем Збірник наукових праць МННЦ ІТiС, Вип. 13. – К.: 2008. 12. *Романовский В.И.* Дискретные цепи Маркова / *В.И. Романовский*. – М.-Л.: Гостехиздат, 1949. 13. *Сапцин В.М.* Опыт применения генетически сложных цепей Маркова для нейросетевой технологии прогнозирования / *В.М. Сапцин* // Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ. – Кривий Ріг, КЕІ КНЕУ, 2009. – Вип. 2 (18). – С. 56-66. 14. *Zhang Y.* Prediction of Financial Time Series with Hidden Markov Models / *Y. Zhang* // *School of Computer Science*. – Vol. Master of Applied Science: Simon Fraser University, 2004. – 102 p., 15. *Rabiner L.R.* A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition / *L.R. Rabiner* // In Proceedings of IEEE. – 1989. – Vol. 77. – P. 257-286. 16. *Чабаненко Д.М.* Алгоритм прогнозування фінансових часових рядів на основі складних ланцюгів Маркова / *Д.М. Чабаненко* // Вісник Черкаського університету. – 2010. – Вип 173. – С. 90-102. 17. *Soloviev V.* Prediction of financial time series with the technology of high-order Markov chains [електронний ресурс] / *V. Soloviev, V. Sapsin, D. Chabanenko* // Working Group on Physics of Socio-economic Systems (AGSOE). – Dresden, 2009. – Режим доступу: <http://www.dpg-verhandlungen.de/2009/dresden/agsoe.pdf>.

Стаття представлена д.ф.-м.н., проф. Соловйовим В.М.

УДК 519.688

Выявление короткой и длинной памяти и прогнозирование временных рядов методами сложных цепей Маркова / Чабаненко Д.Н. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 184 – 190.

В статье предложены новые методы прогнозирования временных рядов, существенным отличием которых является использование сложных цепей Маркова с памятью. Проведена

экспериментальная работа и сделаны выводы о возможности прогнозирования временных рядов предложенными методами. Основное внимание уделяется обоснованию шагов алгоритма и анализу полученных результатов прогнозирования. Также предложено методику оценки возможной погрешности прогнозов на основе анализа дисперсии моделируемого процесса. Приведены результаты прогнозирования индексов фондовых рынков, таких как Dow Jones, S&P 500 и других. Ил.: 1. Библиогр.: 17 назв.

Ключевые слова: прогнозирование, временные ряды, сложные цепи Маркова, финансовые рынки, индексы фондовых рынков.

UDC 519.688

Identification of short- and long-range memory and time series forecasting with the methods of complex Markov chains / Chabanenko D.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 184 – 190.

The article deals with new time series forecasting methods, the main distinctions of which is the usage of memory-based complex Markov chains. The experimental work was done and the conclusions are made about possibilities of time series forecasting with the proposed methods. The main attention is paid to the algorithm explanation and the forecasting results analysis. Also the methods of prediction errors evaluation is proposed, based on the analysis of predicted signal's variance. The forecasting results for financial market's indices are reviewed, such as Dow Jones, S&P 500 and others. Figs: 1. Refs: 17 titles.

Key words: forecasting, time series, complex Markov chains, financial markets, indices for financial market's.

Поступила в редакцію 30.05.2010

Е.В. ШТЕФАН, канд. техн. наук, зав. каф. МіТМ, НУХТ (м. Київ),
Д.В. РИНДЮК, асистент НУХТ (м. Київ)

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВУЗЛА ПРЕСУВАННЯ ГРАНУЛЯТОРА

Представлені основні принципи і методика побудови математичної моделі процесів механічної обробки дисперсних матеріалів. Розглянуто приклад практичного використання розробленої моделі в технології гранулювання біомаси при виробництві паливних гранул. Іл.: 6. Бібліогр.: 17 назв.

Ключові слова: математичне моделювання, дисперсні матеріали, гранулювання біомаси, паливні гранули.

Постановка проблеми в загальному виді і її зв'язок з важливими науковими й практичними завданнями. Останнім часом у харчовій і переробній промисловості виникла проблема по раціональному використанню відходів виробництва, таких, як лузга соняшника, солома, пивна дробина, деревна стружка тощо. Доцільно дані відходи використовувати в якості біопалива, комбікормів і т.п. Але, з огляду на невелику насипну густину таких матеріалів, транспортування їх є економічно не вигідним. Це обумовлює збільшення насипної густини цих матеріалів за рахунок пресування (брикетування, тюкування, гранулювання та ін.). Виходячи з аналізу різних технологій пресування, процес гранулювання – найбільш раціональний, оскільки реалізується в безперервному режимі, дозволяє одержати вироби найбільшої густини, а також забезпечує універсальність подальшого використання гранул (біопаливо, комбікорм із різною фракцією). Гранульовані матеріали в порівнянні з насипними мають більшу стійкість при зберіганні, мають кращу однорідність суміші, краще зберігають вітаміни й мікроелементи, менше підпадають під вплив навколишнього середовища й займають в 2 – 3 рази менший об'єм. Інтенсифікація процесів ущільнення дисперсних матеріалів, що особливо помітна останнім часом при виробництві твердого біопалива, обумовлює усе більш жорсткі вимоги до показників ефективності роботи основних технологічних систем. Тому при проектуванні таких машин і апаратів необхідне визначення взаємозв'язку між конструктивними (розміри робочих зон машин, форма й швидкості руху робочих органів і т.п.) і технологічними (продуктивність машини, тиск, температура, фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу й т.п.) параметрами. Традиційний підхід до проектування такого типу встаткування заснований на емпіричних залежностях і експериментальному досвіді [1] і не дозволяє дати кількісну оцінку взаємовпливу конструктивно-технологічних параметрів процесів обробки й структурно-механічних характеристик сировини. Тому задача по використанню сучасних методів

математичного моделювання, застосована для процесу гранулювання дисперсних матеріалів екструзією, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень в області гранулювання дисперсних матеріалів свідчить, що для ефективного проектування відповідного технологічного обладнання необхідно враховувати структурно-механічні особливості оброблюваних матеріалів [2, 3, 4] і, у першу чергу, такі їх реологічні властивості, як пружність, пластичність, в'язкість [5, 6, 7]. У роботах [8, 9] показані принципи побудови математичної моделі процесу пресування дисперсних матеріалів. Для підвищення ефективності практичного використання даної математичної моделі необхідно подальше її вдосконалювання, спрямоване на можливість врахування максимальної кількості конструктивно-технологічних параметрів. З огляду на широку номенклатуру типів сировини, при визначенні конструктивних характеристик відповідного обладнання виникає задача знаходження взаємозв'язку між основними конструктивно-технологічними параметрами конкретного вузла пресування.

Метою даної роботи є розробка інформаційної технології проектування (ІТП) обладнання для обробки дисперсних матеріалів екструзією та використання розробленої ІТП при створенні вузла пресування гранулятора в технології гранулювання біомаси при виробництві паливних гранул.

Представлено ІТП типу [10]: "математична модель – інтелектуальна експертна система – система автоматизованого проектування", яка схематично наведена на рис. 1. ІТП розглядає технологічний процес грануляції у вигляді мультикомпонентної системи взаємозв'язаних об'єктів досліджень: сировинної маси, елементів технологічного обладнання, механічного навантаження та ін.

При розгляданні конкретної переробної технології використовується концепція представлення дисперсних мас як двохфазних сумішей пористої або зернистої твердої деформованої структури з рідиною або газом. Для опису поведінки дисперсної маси використані поняття напружень, деформацій, щільності, а також швидкості зміни цих параметрів.

Рух та формування дисперсного матеріалу в умовах механічного навантаження по аналогії з [9] описуються рівняннями збереження кількості руху в макро-координатах для:

а) твердої фази

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1 \rho_1 \mathbf{u}) + \text{grad}(\alpha_1 \rho_1 \mathbf{u} \times \mathbf{u}) - \text{grad}(\alpha_1 \sigma) - \mathbf{F}_1 - \mathbf{F}^{(1)} = 0; \quad (1)$$

б) газорідкої фази

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_2 \rho_2 \mathbf{v}) + \text{grad}(\alpha_2 \rho_2 \mathbf{v} \times \mathbf{v}) - \text{grad}(\alpha_2 \mathbf{P}) - \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}^{(2)} = 0, \quad (2)$$



Рис. 1. Схема інформаційної технології проектування

де α_1, α_2 – об'ємні вмісти відповідно твердої та газорідкої фаз; ρ_1, ρ_2 – відповідні середні густини фаз; $\mathbf{u}, \mathbf{v}$ – вектори середньої швидкості зміщення відповідно твердих часток і рідини; $\mathbf{P}$ – гідростатичний тиск у газорідкій фазі; $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2$ – вектори об'ємних сил відповідно у твердій і рідкій фазах; σ – тензор напружень у твердій фазі; $\mathbf{F}^{(1)}, \mathbf{F}^{(2)}$ – сили міжфазної взаємодії.

Внаслідок рівності $\mathbf{P}\mathbf{n} = -\sigma\mathbf{n}$, в точках внутрішніх поверхонь поділу газорідкої і твердої фаз ($\mathbf{n}$ – вектор нормалі до поверхні розділу) виконується умова:

$$\mathbf{F}^{(2)} = \mathbf{F}^{(1)} = \mathbf{F}^0. \quad (3)$$

Формальне складання рівнянь (1) і (2) описує, очевидно, збереження кількості руху у всіх макроточках дисперсного середовища:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1\rho_1\mathbf{u} + \alpha_2\rho_2\mathbf{v}) + \text{grad}(\alpha_1\rho_1\mathbf{u} \times \mathbf{u} + \alpha_2\rho_2\mathbf{v} \times \mathbf{v}) - \\ - \text{grad}(\alpha_1\sigma + \alpha_2\mathbf{P}) - \alpha_2\mu\nabla^2\mathbf{v} - \mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_2 = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Однак у практичних розрахунках зручніше розглядати балансні рівняння кількості руху окремо – у формах рівнянь відносного руху газорідкої і твердої фаз.

Якщо задати силу міжфазної взаємодії у формі

$$\mathbf{F}^0 = \mathbf{F}^{(1)} = \mathbf{F}^{(2)} = \mathbf{R} + \mathbf{P}\text{grad}\alpha_2 \quad (5)$$

і врахувати, що $\alpha_1 = 1 - \alpha_2$, то рівняння відносного руху твердої фази набуде вигляду

$$\alpha_1 \left(\rho_1 \frac{d\mathbf{u}}{dt} - \rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) - \text{grad}\sigma^f - \frac{\mathbf{R}}{\alpha_2} - \alpha_1(\rho_1 - \rho_2)\mathbf{G} = 0, \quad (6)$$

де $\mathbf{R} = \frac{\mu}{a^2} \alpha_1 \alpha_2 (\mathbf{v} - \mathbf{u})$ – ефективна сила в'язкого опору; μ – коефіцієнт в'язкості рідкої фази; a – коефіцієнт міжфазного тертя.

Рівняння відносного руху рідкої фази можна зобразити у формі

$$\rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\text{grad}\mathbf{P} - \frac{\mathbf{R}}{\alpha_2} + \rho_2\mathbf{G}, \quad (7)$$

де $\mathbf{G}$ – вектор прискорення вільного падіння.

Зазначимо, що для процесів, які проходять повільно, (інерційних ефектів:

$\rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} = 0$; $\rho_2\mathbf{G} = 0$), рівняння (7) відображає закон фільтрації в ізотропному пористому середовищі:

$$\mathbf{v} - \mathbf{u} = -\frac{a^2}{\mu\alpha_1} \text{grad}\mathbf{P}. \quad (8)$$

Як показують експериментальні дослідження, при невеликих градієнтах тиску або швидкостях фільтрації виконується лінійний закон Дарсі:

$$\mathbf{v} - \mathbf{u} = -\frac{k^p}{\alpha_1} \text{grad} \mathbf{P}, \quad (9)$$

де k^p – коефіцієнт проникності середовища.

Щоб замкнути отриману систему рівнянь (1) – (9), треба сформулювати режим деформування твердої фази (визначальні співвідношення) та відповідні режими просторово-часової зміни граничних умов. Визначальні співвідношення приймаємо в рамках реологічної моделі пружно-в'язко-пластичного тіла. При цьому врахування деформування рідкої фази здійснюємо завданням кінетики зміни об'ємних вмістів фаз, зумовлених фільтраційний механізмом (7). Граничні умови відображають конструктивно-технологічні особливості взаємодії елементів технологічного обладнання з дисперсним матеріалом, що обробляється.

Алгоритмічна модель складається із наступних основних частин:

- розв'язок сформульованої задачі оснований на принципі розкріплення проєкційно-сітковими методами: скінчених елементів по просторовим змінним та скінчених різниць за часовим аргументом.

- обчислювальні алгоритми, які реалізують найбільш типові реологічні процеси екструзії дисперсних систем.

Розроблені алгоритми реалізовані у вигляді цифрової моделі – програмного обчислювального комплексу "PLAST-GRN-002" [11]. Програмний комплекс призначений для моделювання нерівноважних процесів деформування дисперсних двофазних структур при заданому технологічному режимі їх оброблення.

У межах розробленої ІТП розглянуто процес гранулювання дисперсних матеріалів екструзією з метою виробництва паливних гранул [12].

Основний вплив на процес гранулювання має конструкція гранулятора (особливо профіль отворів у матриці вузла гранулювання) [13, 14] і реологія матеріалу [15, 16], що гранулюється.

Розглянуто одну з типових конструктивних схем гранулювання, у якій пресуючий ролик розташований всередині кільцевої матриці (рис. 2.)

Для прийнятої конструктивної схеми гранулятора можна виділити наступні основні параметри, які визначають протікання процесу: геометричні розміри роликів і матриці, геометричні розміри отворів у матриці, шорсткість поверхні отворів, частота обертання матриці гранулятора, тиск при екструзії крізь отвір, реологічні властивості сировини, продуктивність і якість готової продукції.

Ключова технологічна операція, що відбувається в пресуючому вузлі гранулятора – це операція гранулювання екструзією сировини через отвори в матриці (рис. 3.). На рис. 3. схематично наведена схема нагнітання сировини двома роликами у отвори матриці з заданими геометричними параметрами d , D_p , D_m , L , α . На рис. 4 представлені відповідні розрахункові схеми процесу гранулювання екструзією. Перша розрахункова схема (рис. 4а) представляє

собою частину матриці гранулятора з отворами, сировина обмежена в верхній частині пресуючим роликом. Схема враховує геометрію як матриці гранулятора, (її діаметр, та відстань між отворами) так і діаметр пресуючого ролика і відстань (зазор) між матрицею гранулятора та роликом.

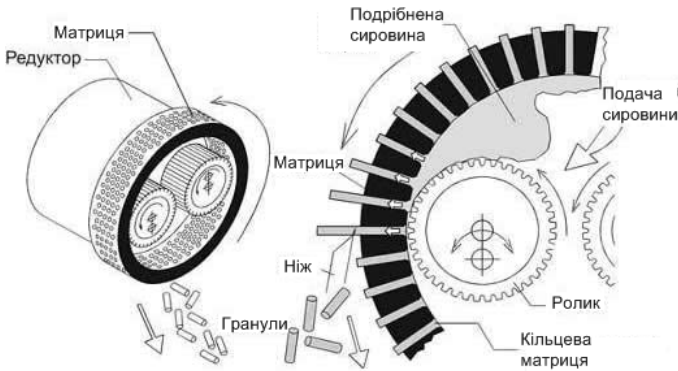


Рис. 2. Вузол пресування гранулятора з кільцевою матрицею

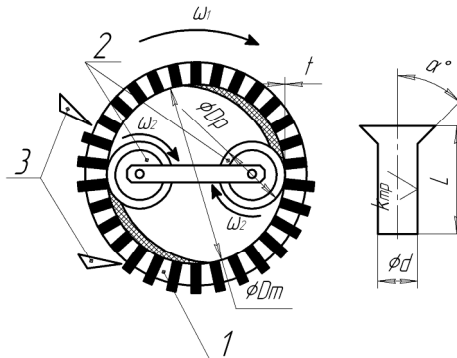


Рис. 3. Схема роботи вузла пресування, де ω_1 , ω_2 – кутова швидкість обертання матриці та ролика відповідно, D_p та D_m – діаметр матриці та ролика, t – зазор між роликом та матрицею, L – довжина отвору в матриці, d – діаметр отвору в матриці, α – кут нахилу фаски отвору (1 – кільцева матриця з отворами; 2 – пресуючий ролик; 3 – ніж)

Друга розрахункова схема (рис. 4б) призначена для моделювання процесу екструзії матеріалу в каналі матриці гранулятора. В схемі згідно рис. 3 враховані геометричні розміри каналу: довжину, діаметр, величину фаски та ін.

Використання першої розрахункової схеми (рис. 4а) дозволяє дослідити особливості поведінки матеріалу у прошарку між роликом та матрицею. Аналіз результатів обчислювальних експериментів, що проведені на основі

цієї розрахункової схеми, дозволили визначити отвори матриці, в яких відбувається найбільш інтенсивне пресування матеріалу (рис. 5). З рис. 5 видно, що в отворах 3 та 4 мають місце найбільші (у порівнянні з іншими) переміщення часток матеріалу. Моделювання руху дисперсного матеріалу скрізь ці отвори проводили з використанням другої розрахункової схеми (рис. 4б). При цьому результати попередніх розрахунків використані у якості початкових умов навантаження на матеріал у відповідному отворі.

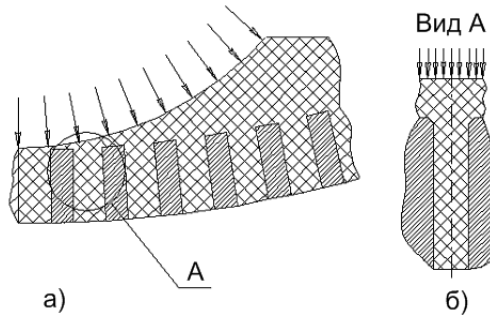


Рис. 4. Розрахункові схеми процесу гранулювання: а) – нагнітання матеріалу роликком до отворів матриці, б) – екструзії матеріалу скрізь отвір матриці

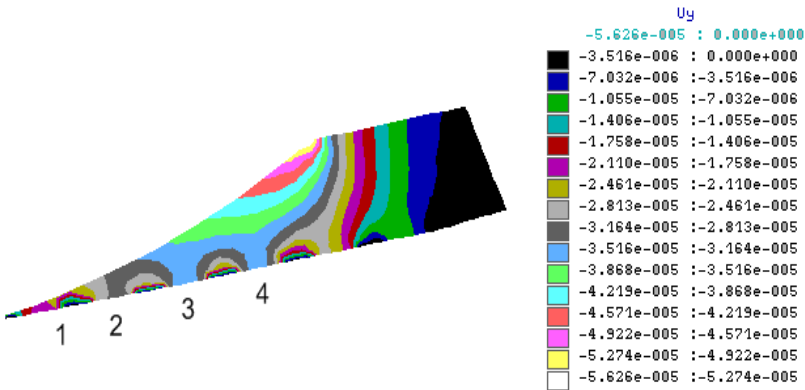


Рис. 5. Діаграма розподілу переміщень по осі Y.

Аналіз та оброблення результатів проведеного комплексу обчислювальних експериментів дозволив побудувати графічні залежності густини гранул та продуктивності гранулятора від основних конструктивно-технологічних параметрів вузла пресування гранулятора, частина з яких наведена на рис. 6.

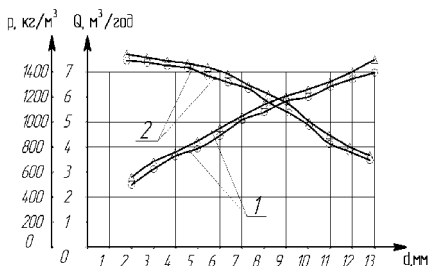


Рис. 6а. Графіки залежності продуктивності (1) та густини (2) від діаметра каналу d для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●)

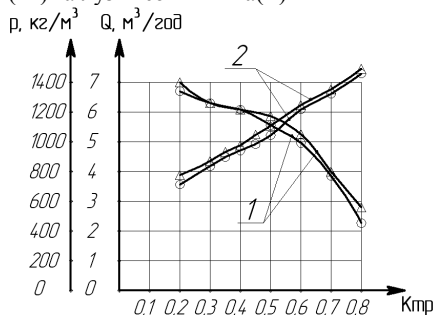


Рис. 6в. Графіки залежності продуктивності (1) та густини (2) від коеф. тертя між сировиною та поверхнею каналу для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●)

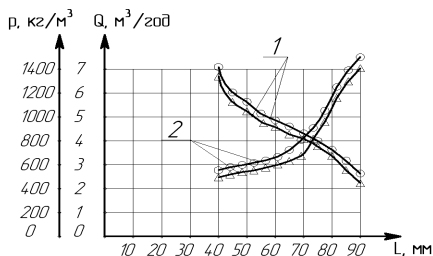


Рис. 6б. Графіки залежності продуктивності (1) та густини (2) від довжини каналу L для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●)

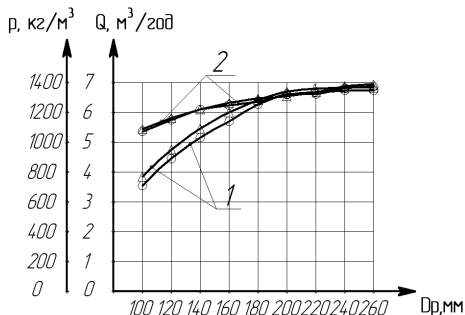


Рис. 6г. Графіки залежності продуктивності (1) та густини (2) від діаметра ролика D для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●)

Аналіз отриманих залежностей показав наступне: зменшення діаметру каналу в матриці та зазору між роликом та матрицею позитивно впливає на густину отриманих гранул; збільшення довжини каналів в матриці, діаметра пресуючого ролика та коефіцієнта тертя між сировиною та поверхнею каналу підвищує густину гранули; найбільша густина гранули досягається при використанні матриць з кутом нахилу фаски отворів $\alpha = 45^\circ$.

Адекватність запропонованої математичної моделі визначається коректністю побудови відповідних скінчено-елементних моделей і досконалістю аналітичної та алгоритмічної моделей. Оцінка точності результатів моделювання була проведена шляхом зрівняння отриманих розв'язків з даними натурних експериментів на фізичних моделях [17].

Висновки. Розроблена математична модель дає можливість визначити взаємозалежності між основними конструктивно-технологічними параметрами прес-гранулятора з урахуванням структурно-механічних характеристик

сировини. Отримані результати доцільно використати в якості рекомендацій при проектуванні грануляційного обладнання.

Список літератури: 1. *Штефан Є.В.* Моделирование поведения дисперсных систем у неравновесных процессах харчових виробництв / *Є.В. Штефан* // Наукові праці УДУХТ. – 2000. – № 8. – С. 63-66. 2. *Класен П.В.* Гранулирование / *П.В. Класен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин.* – М.: Химия, 1991. – 240 с. 3. *Генералов М.Б.* Расчет оборудования для гранулирования минеральных удобрений / *М.Б. Генералов.* – М.: Машиностроение, 1984. – 192 с. 4. *Борисов В.М.* // ЖПХ. – 1987. – Т. LX. – № 2. – С. 613-619. 5. *Шомин И.П.* Исследование параметров работы валковых прессов для производства гранулированных удобрений: Дисс. ... канд-та техн. наук. – М.: МИХМ, 1985. – 156 с. 6. *Геладзе Л.Б.* Разработка способов улучшения качества гранул фосфорсодержащих удобрений на основе изучения физико-химических условий их получения: Дисс. ... канд-та техн. наук. – М.: НИИУФ, 1989. – 188 с. 7. *Гузь М.А.* Разработка метода расчета высокоскоростного гранулятора окатывания для мелкодисперсных материалов: Дисс. ... канд-та техн. наук. – М.: МИХМ, 1982. – 206 с. 8. *Николаевский В.Н.* Механика насыщенных пористых сред / *В.Н. Николаевский, К.С. Басинев, А.Т. Горбунов, Г.А. Зотов.* – М.: Недра, 1970. – 339 с. 9. *Нигматулин Р.И.* Методы механики сплошной среды для описания многофазных смесей / *Р.И. Нигматулин* // ПММ. – 1999. – Т. 34. – № 6. – С. 1097-1112. 10. *Штефан Є.В.* Информационная технология проектирования технологического оборудования для механической обработки дисперсных материалов / *Є.В. Штефан* // Межд. период. сб. науч. тр. "Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование". – Вып. 12. – Одесса: НПО "ВОТУМ", 2002. – С. 72-78. 11. *Штефан Є.В.* Математическое моделирование процессов механической обработки дисперсных материалов / *Є.В. Штефан* // Вісник НТУ "ХПТ". Тематичний випуск "Хімія, хімічна технологія та екологія". – Харків: НТУ "ХПТ". – 2009. – № 25. – С. 23-28. 12. *Риндюк Д.В.* Розробка метода визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора / *Д.В. Риндюк, Є.В. Штефан* // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій // Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2006. – Вип. 28. – Т. 2. – С. 202-205. 13. *Штефан Є.В.* Патент на корисну модель № 30058. – МПК (2006). – B01J2/00 Спосіб визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора // *Є.В. Штефан, Д.В. Риндюк* – Зареєстровано 11.02.2008. 14. *Штефан Є.В.* Визначення конструктивно-технологічних параметрів процесів переробки харчових матеріалів холодною екструзією / *Є.В. Штефан, Ю.О. Засць, Д.В. Риндюк* // Комбікормова промисловість України. – № 5 (18). – 2006. – С. 16-20. 15. *Валентас К.Д.* Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / *К.Д. Валентас, С. Ротштейн, Р.П. Сингх.* – С.Пб.: Профессия, 2004. – 848 с. 16. *Фенгел Д.* Древесина. Под редакцией доктора технических наук, проф. А.А. Леоновича / *Д. Фенгел, Г. Вегенер.* – М.: "Лесная промышленность", 1988. – 540 с. 17. *Штефан Е.В.* Розрахунково-експериментальні дослідження процесу коекструзії гістофаршевого джгута / *Е.В. Штефан, Л.М. Мізнік.* – Наукові праці НУХТ. – 2008. – № 25. – С. 81-83.

Стаття представлена зав. каф. енерго- та ресурсощадних технологій Національного університету харчових технологій д.т.н., проф. Серегінін О.О.

УДК 669.01: 621.9

Использование математического моделирования при проектировании узла прессования гранулятора/ Штефан Е. В., Риндюк Д. В. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 191 – 200.

Представлены основные принципы и методика построения математической модели процессов механической обработки дисперсных материалов. Рассмотрен пример практического использования разработанной модели в технологии гранулирования биомассы при производстве топливных гранул. Ил.: 6. Библиогр.: 17 назв.

Ключевые слова: математическое моделирование, дисперсные материалы, гранулирование биомассы, топливные гранулы.

UDK 669.01: 621.9

Mathematical modeling using for pelletizing pressure equipment design / Shtefan E.V., Rindjuk D.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 191 – 200.

The main principles and technique of mathematical model construction of disperse materials processes of machining are presented. The example of developed model practical using in pelletizing biomass technology by manufacture of fuel granules is considered. Figs.: 6. Refs.: 17 titles.

Keywords: mathematical modeling, disperse materials, pelletizing biomass, fuel granules.

Поступила в редколлегію 01.10.2009

Содержание

Балабанов В.Н. Эволюционный метод рационального планирования раскроев рулонной стали в производстве электросварных труб	4
Бурцев М.В., Поворознюк А.И. Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решающем правиле ..	10
Бых А.И., Высоцкая Е.В., Порван А.П., Рак Л.И., Антоненко В.Г., Болибок Е.Е., Сватенко О.А. Использование дискриминантного анализа для диагностики хронической сердечной недостаточности у подростков	16
Бых А.И., Панферова И.Ю., Высоцкая Е.В., Жуков В.И., Кириченко Ю.В. Разработка модели базы данных информационной системы хранения и обработки информации о пациентах с заболеваниями различными дерматозами	23
Василенко О.В., Кузнецов Д.О. Спектральний аналіз в ECAD	30
Васяева Т.А., Хмелевой С.В., Алексеева Е.В. Нейросетевое прогнозирование потребления природного газа	37
Виклюк Я.І., Гаць Б.М. Методи розрахунку і побудови просторових полів ймовірності урбанізації	42
Волченко Е.В. Расширение метода группового учета аргументов на взвешенные обучающие выборки w-объектов	49
Высоцкий В.В. Проблемы минимизации рисков при аутсорсинге информационных услуг	58
Гладких Т.В., Леонов С.Ю. Автоматизация выявления рисков сбоя с помощью нейронной сети	65
Готра З.Ю., Голяка Р.Л., Марусенкова Т.А. Метод калібрування сенсорів магнітного поля на розщеплених холлівських структурах	74
Дацок О.М., Красникова С.А. Современный подход к диагностике гемодинамики беременных с нарушениями работы сердца	80
Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Мезенцев Н.В. Синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда методом аналитического конструирования по критерию обобщенной работы	87
Дорош О.І., Кучмій Г.Л., Дорош Н.В. Організація інтерфейсу для систем медичної діагностики та підтримки прийняття рішень	95
Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г., Гвозденко М.В. Синтез сигналов рядами Хаара при двоичном задании аргументов	100

Краснопрошин В.В., Коновалов О.Л., Вальвачев А.Н. Технология построения баз знаний на основе распределенных когнитивных ресурсов	106
Краснопрошин В.В., Лосяцкий Е.А., Образцов В.А., Виссия Х., Гутников С.Е., Попок С.А. Интеллектуальная система поддержки решений в спортивной травматологии	112
Крюк Ю.Е., Кунец И.Е. Моделирование системы радиационного мониторинга для персонала промышленных объектов	119
Поворознюк А.И., Чикина Н.А., Антонова И.В. Нечеткая экспертная система прогноза риска развития профессионально обусловленных заболеваний	127
Полько П.Г., Логунова О.С. Имитационная модель цифровых контуров автоматической стабилизации технологических параметров на основе правил нечеткого управления	133
Ризун Н.О., Тараненко Ю.К. Методика разработки автоматизированной системы управления качеством тестового контроля знаний	145
Романюк В.В. Чисельний метод знаходження одного узагальненого функціонального інтеграла на невід'ємній границі одиничної кулі з нульовим центром	153
Савкова Е.О. Имитационное моделирование процесса вертикального зондирования гидрофизических полей водной среды	162
Скобцов Ю.А., Скобцов В.Ю., Нассер Иад К.М. Проверяющие тесты crosstalk неисправностей на основе эволюционных методов	170
Скобцов Ю.А., Ченгарь О.В. Оптимизация работы производственного участка машиностроительного предприятия на основе метода муравьиных колоний	177
Чабаненко Д.М. Виявлення короткочасної та довготривалої пам'яті та прогнозування часових рядів методами складних ланцюгів Маркова	184
Штефан Е.В., Риндюк Д.В. Використання математичного моделювання при проектуванні вузла пресування гранулятора	191

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

*Збірник наукових праць
Тематичний випуск
Інформатика і моделювання
Випуск 31*

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.

Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.

Відповідальний за випуск Луньова В.М.

Дизайн та оформлення к.т.н. Гладких Т.В.

Обл.вид. № 138–10

Підп. до друку 14.06.2010 р. Формат 60х84 1/16. Папір Сору Рарег.

Друк-ризוגрафія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,8.

Облік. вид. арк. 10,0. Наклад 300 прим.

Ціна договірна

НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавничий центр НТУ "ХПІ"

Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Типографія "Цифровая печать"

61024 Україна, г. Харьков, ул. Культуры, 22