

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»

*Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні
технології*

№ 61 (1103) 2014

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2014

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 61 (1103). – 136 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «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., с. 3, № 20).

Координаційна рада:

Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;

Є. С. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.;

А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В. Д. Дмитриченко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;

В. В. Єліфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;

П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;

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

В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.;

О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.;

П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.;

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

Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.;

М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.

Заст. відповідального редактора: О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: М. І. Безменов, канд. техн. наук, проф.

Члени редакційної колегії: І. П. Гамаюн, д-р техн. наук, проф.;

В. Д. Дмитриченко, д-р техн. наук, проф.; О. В. Сфімов, д-р техн. наук, проф.;

І. В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.; Л. М. Любчик, д-р техн. наук, проф.;

Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.; В. П. Северин, д-р техн. наук, проф.;

Н. В. Шаронова, д-р техн. наук, проф.; М. О. Ястребенський, д-р техн. наук, проф.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Системний аналіз, управління та інформаційні технології», індексується в наукометричних базах **WorldCat** і **Google Scholar** і включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)**.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 11 від 22 грудня 2014 р.

М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
Н. Ю. РОМАНОВИЧ, Восточноевропейский национальный университет
им. Леси Украинки, Луцк

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В работе в качестве инструмента, который формализует процесс стратегического управления развитием предприятия используется система ключевых показателей эффективности. На основе идеологии системной оптимизации предложен метод формирования эффективных решений, который базируется на решении задачи многокритериальной оптимизации с использованием метода уступок и метода ограничений.

Ключевые слова: стратегическое управление, ключевые показатели эффективности, системная оптимизация, метод уступок, метод ограничений.

Введение. Термин «стратегическое управление» впервые был использован на стыке 60–70-х годов 20-го столетия для того, чтобы обозначить разницу между текущим управлением на уровне производства и управлением, которое осуществляется на высшем уровне предприятия. Необходимость такой дифференциации в первую очередь была вызвана изменениями в условиях ведения бизнеса. Основные идеи стратегического управления отражены в работах И. Ансоффа, Р. Акоффа, У. Кинга, Д. Клиланда, Т. Саати и др. Основной идеей, отражающей суть перехода от текущего управления к стратегическому является перенос центра внимания высшего эшелона руководства предприятия на внешнее окружение, для того, чтобы соответствующим образом и своевременно реагировать на происходящие в нем изменения [1].

Ключевые показатели эффективности. В качестве инструмента, который формализует процесс стратегического управления развитием предприятия и направлен на повышение эффективности его функционирования и развития, используется система ключевых показателей эффективности (КПЭ). Система КПЭ основана на измерении и оценке эффективности с использованием набора показателей, отобранных с учетом всех существенных аспектов деятельности предприятия. Различные систем КПЭ отличаются друг от друга методологией построения структуры показателей и ориентированы на различные группы пользователей. Выделим следующие модели управления эффективностью: система сбалансированных показателей; пирамида эффективности; модель европейского фонда управления качеством; призма эффективности; панель управления, а также различные их модификации [2,3].

Рассмотрим более подробно одну из систем КПЭ – призму эффективности, которая измеряет эффективность предприятия с точки зрения пяти взаимосвязанных аспектов (перспектив):

- 1) удовлетворение заинтересованных сторон – (кто они и чего они хотят?);
- 2) вклад заинтересованных сторон – (что мы хотим получить от них?);
- 3) стратегии – (какие стратегии мы должны использовать для удовлетворения потребностей и желаний?);
- 4) процессы – (какие процессы мы должны ввести для достижения поставленных целей?);
- 5) возможности – (какими возможностями мы должны владеть для управления своими процессами?).

Каждой перспективе ставится в соответствие множество ключевых факторов успеха (КФУ). В свою очередь каждому КФУ присваивается множество стратегических целей, которые описываются на вербальном уровне. Далее каждой стратегической цели присваивается множество ключевых показателей деятельности (КПД), значение которых измеряется в различных шкалах. Таким образом, осуществляется переход от вербального описания миссии, видения и базовых ценностей к измеримым показателям [4].

Обобщенная модель. На основе идеологии системной оптимизации предлагается метод формирования эффективных решений при рассмотрении задачи стратегического управления предприятием. Кратко сформулируем суть метода, который в зависимости от класса модели задачи системной оптимизации [5], приоритетов критериев, предметной области и т.д. может быть «раскрыт» в виде комплекса различных моделей, алгоритмов, методик.

1. Рассматривается некоторое пространство U целевого назначения предприятия, в котором определяется вектор $u \in U$ значений КПД.

2. Исходному состоянию предприятия соответствует область $D_0 \in U$, которая характеризуется множеством допустимых вариантов значений вектора КПД. Каждому варианту соответствует значение векторного критерия $\bar{F}_0 = \{\bar{F}_{or}, r \in R\}$, где R – множество критериев, определяющих интересы предприятия.

3. Перед предприятием ставится стратегическая цель, которая может быть выполнена различным образом в рамках некоторой области $D_0^d \in U$. Фактически директивной областью D_0^d определяется государственная, экономическая, социальная политики с точки зрения его развития.

4. В том случае, если $D_0 \cap D_0^d = \emptyset$, возникает задача направленной коррекции этих областей. Для этого осуществляется расширение пространства U и введение некоторого нового пространства $U \times \Sigma$, где знак

« \times » является декартовым произведением двух пространств. Σ – пространство новых переменных, определяемых вектором δ . Отдельные составляющие этого вектора δ_1 и δ_2 соответственно корректируют параметры областей D_0 и D_0^d . В результате формируются новые области D_1 и D_1^d .

5. Коррекция области D_0 осуществляется на основе векторного критерия $\bar{F} = \{\bar{F}_r, r \in R\}$, который является расширением векторного критерия F_0 за счет введения новых переменных, а коррекция D_0^d осуществляется на основе векторного критерия $\bar{W} = \{\bar{W}_g, g \in G\}$, который определяет степень отклонения от цели, первоначально поставленной перед предприятием. G – множество критериев, характеризующих поставленную цель.

6. На составляющие вектора δ накладываются ограничения $\delta_1 \in D_{\Sigma_1}$ и $\delta_2 \in D_{\Sigma_2}$, где $D_{\Sigma_1} \subset \Sigma_1$, $D_{\Sigma_2} \subset \Sigma_2$ и $\Sigma = \Sigma_1 \times \Sigma_2$, $D_{\Sigma} = D_{\Sigma_1} \times D_{\Sigma_2}$.

7. В результате проблема стратегического управления развитием предприятия сводится к решению следующей задачи. Найти множество эффективных альтернатив вектора $(u, \delta) \in U \times \Sigma$, оптимизирующее множество критериев

$$\bar{F}_r, r \in R; \bar{W}_g, g \in G$$

при условии

$$(u, \delta_1) \in \bar{D}_0, (u, \delta_2) \in \bar{D}_0^d, \delta \in D_{\Sigma} \subset \Sigma.$$

\bar{D}_0 и \bar{D}_0^d – области, которые расширяют D_0 и D_0^d за счет введения новых переменных δ_1 и δ_2 .

8. Критерии задачи векторной оптимизации (пункт 7) объединяются в две группы (коалиции). К первой группе относятся критерии $\bar{F}_r, r \in R$, а ко второй – $\bar{W}_g, g \in G$. В дальнейшем считается, что критерии второй группы имеют более высокий приоритет по отношению к критериям первой группы.

9. На базе критериев каждой коалиции формируются обобщенные критерии

$$F = \sum_{r \in R} \rho_r^1 \omega_r(\bar{F}_r),$$

$$W = \sum_{g \in G} \rho_g^2 \omega_g(\overline{W}_g),$$

где

$$\rho_r^1 \geq 0 \forall r \in R, \sum_{r \in R} \rho_r^1 = 1,$$

$$\rho_g^2 \geq 0 \forall g \in G, \sum_{g \in G} \rho_g^1 = 1,$$

а ω_r , $r \in R$ и ω_g , $g \in G$ – монотонные преобразования критериев \overline{F}_r , $r \in R$ и \overline{W}_g , $g \in G$.

10. Предлагаемый метод формирования эффективных решений в задачах стратегического управления развитием предприятия состоит в том, что к критериям F и W применяется метод уступок, а по отношению к каждой коалиции критериев – метод ограничений.

11. Сначала методом ограничений решается задача нахождения множества эффективных альтернатив вектора δ_2 , минимизирующее обобщенный критерий W при ограничениях

$$\delta_2 \in D_{\Sigma_2}, W \geq W^* \geq 0,$$

где W^* – численное значение уступки по критерию W . В результате решения этой задачи определяется новая область D_1^{d*} .

12. На следующем этапе решается задача определения множества эффективных альтернатив вектора (u, δ_1) , оптимизирующее обобщенный критерий F при ограничениях

$$(u, \delta_1) \in \overline{D}_0, u \in D_1^{d*}, \delta_1 \in D_{\Sigma_1}.$$

13. Минимальное значение $W^* = W_{\min}^*$, при котором решение задачи пункта 12 существует, соответствует множеству эффективных решений вектора (u, δ_1, δ_1) лексикографической задачи, когда критерий W имеет абсолютный приоритет по отношению к критерию F .

14. Решая задачи пунктов 11 и 12 для различных W^*

$$W_{\min}^* \leq W^* \leq W_{\max}^*,$$

где W_{\max}^* – максимально допустимая уступка по критерию W , определяются вектора (u, δ) , на базе которых отбирается множество эффективных решений для случая, когда критерий W имеет относительный приоритет по отношению к F .

Выводы. В качестве инструмента, который формализует процесс стратегического управления развитием предприятия используется система ключевых показателей эффективности. Конкретной моделью, используемой в работе, является призма эффективности, которая характеризуется пятью перспективами. Представлен «путь» преобразования от вербально описанных миссии, видения и базовых ценностей предприятия к измеренным КПД. На основе идеологии системной оптимизации в пространстве КПД предложен метод формирования эффективных решений при стратегическом управлении развитием предприятия, который базируется на решении задачи многокритериальной оптимизации при условии, когда исходные цели и возможности предприятия несовместны.

Список литературы: 1. *Виханский О. С.* Стратегическое управление: учебник / *О. С. Виханский*. – М.: Экономист, 2003. – 296 с. 2. *Каплан Р.* Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / *Р. Каплан, Н. Дэвид*. – М.: Олимп-Бизнес, 2003. – 304 с. 3. *Нили Э.* Призма эффективности. Карта сбалансированных показателей для измерения успеха в бизнесе и управления им / *Э. Нили, К. Адамс, М. Кеннерли* –Днепропетровск: ООО «Баланс-Клуб», 2003. 4. *Годлевский М. Д.* Основные подходы к синтезу модели системы ключевых показателей эффективности холдинга / *М. Д. Годлевский, Э. Е. Рубин, С. С. Никитчук*. – Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2012. – № 4/3 (58). – С. 8–12. 5. *Годлевский М. Д.* RPD–алгоритмы системной оптимизации развивающихся систем в задачах линейного программирования большой размерности / *М. Д. Годлевский*. – Кибернетика. – 1990. – № 2. – С. 53–57

Bibliography (transliterated): 1. *Vihanskiy, O. S.* *Strategicheskoe upravlenie*. Moscow: Economist, 2005. Print. 2. *Kaplan R., and N. David.* *Sbalansirovannaja sistema pokazatelei. Ot strategii k deistviu*. Moscow, 2003. Print. 3. *Nili, E., K. Adams and M. Kennerli.* *Prizma effektivnosti. Karta sbalansirovannyh pokazatelei dlja izmerenija uspeha v biznese i upravlenii im*. Dnepropetrovsk, 2003. Print. 4. *Godlevskij, M. D., E. E. Rubin and S. S. Nikitchuk.* "Osnovnye podhody k sintezu modeli sistemy kluchevyh pokazatelei effektivnosti holdinga". *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* No 4/3 (58) (2012): 8–12. Print. 5. *Godlevskij, M. D.,* RPD–algoritmy sistemnoi optimizacii razvivajushchihsjja sistem v zadachah lineinogo programmirovanija bolshoi razmernosti. *Kibernetika* No 2 (1990): 53–57. Print.

Поступила (received) 08.12.2014

И. М. ГОДЛЕВСКИЙ, аспирант кафедры САиУ НТУ «ХПИ»;
А. А. ПИНАЕВА, студентка кафедры АСУ НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ И СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ЛОГИСТИКОЙ ДИСТРИБЬЮЦИИ

В работе рассматривается задача конфигурирования логистической сети дистрибьюции товаров массового использования. Проведена декомпозиция всей задачи на две отдельные подзадачи: задача рассеивания; задача консолидации и разукрупнения продукции. Модель первой – задача структурно-топологического синтеза с булевыми переменными. Модель второй – транспортная задача линейного программирования с непрерывными, целочисленными и булевыми переменными. Для их решения использован метод ветвей и границ.

Ключевые слова: логистическая сеть, дистрибьюция, декомпозиция, транспортная задача, линейное программирование, метод ветвей и границ.

Введение. Согласно [1] корпоративная стратегия фирмы формируется из маркетинговой, логистической и производственной стратегии. При этом стратегическая цель в области логистики состоит из ряда подцелей, которые достигаются на основе решения ряда задач: конфигурирование логистической сети; разработка организационной структуры логистической системы (ЛС); разработка технологий координации функционирования отдельных составляющих ЛС; создание интегрированной системы управления запасами; формирование стратегических требований к качеству логистического сервиса; выбор логистической информационной системы.

Впервые в работе [2] рассмотрена целостная технология формирования системы организационного управления логистикой дистрибуции при стратегическом планировании, которая состоит из двух этапов.

1. Конфигурирование логистической сети.
2. Формирование структуры и системы организационного управления.

Второй этап состоит из следующих подэтапов:

- 1) формирование участников сети цепочек поставок;
- 2) формирование центров влияния (координация цепи) и анализ связей в цепочках поставок;
- 3) синтез иерархической организационной структуры управления;
- 4) формирование локальных задач и задач координации;
- 5) оптимизация логистической системы на основе межорганизационной межфункциональной координации;
- 6) принятие решения по выбору структуры и системы организационного управления логистикой дистрибуции.

В области логистики, как ни в одной другой сфере нашей жизни, применяется широкий спектр математических методов: исследование операций, системный анализ, программно-целевое планирование, имитационное моделирование и другие методы в области исследования сложных систем. Для реализации задач конфигурирования логистической сети, в которую входит и создание интегрированной системы управления запасами, используются модели и алгоритмы решения транспортных задач, управления запасами, а также модели и алгоритмы выбора мест размещения производства и складских помещений.

В работе рассматривается эшелонированная структура логистической сети дистрибуции товаров массового использования с двумя промежуточными уровнями, которые представлены разукрупняющими и консолидирующими складами. На первых сортируются крупные партии грузов и готовятся к отправке потребителям. Консолидация грузов необходима производителям, заводы которых расположены вдали друг от друга. Учитывая большую размерность задачи, а также то обстоятельство, что различным уровням сети цепочек поставок соответствуют различные типы транспортных задач, проведена декомпозиция всей задачи на две отдельные подзадачи:

- 1) задача рассеивания;
- 2) задача консолидации и разукрупнения продукции.

В работе рассматривается детерминированная постановка задачи, которая в дальнейшем будет использована при вероятностном спросе на продукцию, а также рассмотрении других случайных параметров логистической сети.

Модель задачи рассеивания. Введём ряд параметров, которые будут использованы при формировании модели задачи: m_4 – фиксированное количество потребителей на четвертом уровне логистической сети; k – номер потребителя ($k=1,2,..m_4$); m_3 – количество потенциальных мест расположения региональных (разукрупняющих) складов; μ_3 – количество используемых складов регионального уровня при условии, что $0 < \mu_3 \leq m_3$; C_{kj} – стоимость транспортировки единицы продукции с j -го регионального склада k -му потребителю; $\hat{\alpha}_{kp}$ – объем потребления p -го продукта k -м потребителем.

Товары массового использования перевозятся в паллетах. Поэтому в дальнейшем в качестве единицы измерения перевозимых грузов будем использовать паллету, в которой может быть размещено различное количество единиц конкретных видов грузов. Будем считать, что нет ограничения на совместную перевозку различных видов грузов. Тогда суммарный объем потребления продукции k -м потребителем определяется следующим образом

$$\tilde{\alpha}_k = \sum_{p=1}^P \hat{\alpha}_{kp}, \quad k = 1, 2, \dots, m_4,$$

где P – количество видов потребляемой продукции.

Введем переменные модели задачи рассеивания: $\tilde{x}_{kj} \in \{0,1\}$ – булева переменная, которая равна единице, если k -й потребитель продукции связан транспортной артерией с j -м региональным складом; $\hat{x}_j \in \{0,1\}$ – булева переменная, которая равна единице, если j -й склад используется при решении задачи рассеивания.

На основе введенных параметров и переменных модель задачи рассеивания записывается в следующем виде. Найти такое значение кортежа $(\{\hat{x}_j\}, \{\tilde{x}_{kj}\})$, которое обеспечивает минимальное значение целевой функции

$$F_1(\{\tilde{x}_{kj}\}) = \sum_{j=1}^{m_3} \sum_{k=1}^{m_4} C_{kj} \tilde{\alpha}_k \tilde{x}_{kj} \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{m_3} \tilde{x}_{kj} \geq 1, \quad \tilde{x}_{kj} \in \{0,1\}, \quad k = \overline{1, m_4}, \quad j = \overline{1, m_3}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{m_3} \hat{x}_j = \mu_3, \quad \hat{x}_j \in \{0,1\}, \quad j = \overline{1, m_3}, \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{m_4} \tilde{x}_{kj} \leq \hat{x}_j \cdot m_4, \quad j = \overline{1, m_3}. \quad (4)$$

Целевая функция (1) определяет суммарные транспортные расходы на перевозку продукции с региональных складов потребителям. Условие (2) означает, что каждый потребитель продукции должен быть связан хотя бы с одним региональным складом. Условие (3) определяет ограничение на количество складов регионального уровня. Ограничение (4) означает, что если региональный склад не используется, то с него продукция потребителям не поставляется. Правая часть условия (4) равна $\hat{x}_j \cdot m_4$, так как при использовании j -го склада он может обслуживать максимум m_4 потребителей.

Модель задачи консолидации и разукрупнения. Данная задача является транспортной с промежуточными узлами, в качестве которых выступают консолидирующие склады. Исходными являются пункты производства продукции, а конечными – региональные склады. Преобразуем

эту задачу в обычную транспортную и введем ряд параметров, которые будут использованы при построении модели: M_3 – множество складов регионального уровня, местоположение которых определяется в результате решения задачи рассеивания при условии, что $|M_3| = \mu_3$; m_2 – количество потенциальных мест расположения консолидирующих складов, а μ_2 – их количество $0 < \mu_2 \leq m_2$; m_1 – количество мест производства продукции; \bar{C}_l – удельные затраты на один километр для l -го типа транспортного средства; V_l – грузоподъемность l -го типа транспорта; h_{ij} – расстояние между i -м и j -м пунктами транспортной задачи ($i = \overline{1, m_2 + m_1}$; $j = \overline{1, m_2 + m_3}$); $\bar{\alpha}_{jp}$ – объем продукции p -го вида, который необходимо поставить j -му региональному складу. Данная величина зависит от длительности цикла поставки продукции и определяется на основе $\hat{\alpha}_{kp}$. В том случае, если длительность цикла поставки продукции с пунктов производства на региональные склады совпадают с длительностью цикла задачи рассеивания, то

$$\bar{\alpha}_{jp} = \sum_{k \in M_4^j} \hat{\alpha}_{kp}, \quad p = \overline{1, P}; \quad j = \overline{1, \mu_3},$$

где \overline{M}_4^j – множество пунктов потребления, прикрепленных к j -му региональному складу, которое определяется в результате решения задачи рассеивания. Параметр $\tilde{\alpha}_{ip}$ – определяет максимальный объем поставки продукции p -го вида i -м производителем.

Введем переменные задачи консолидации и разукрупнения: \hat{y}_{ij}^l – целочисленная переменная, определяющая количество транспортных средств l -го типа, перевозящих готовую продукцию с i -го в j -й пункт; L – количество типов транспортных средств; \tilde{y}_{ij}^p – объем поставок в паллетах p -го вида продукции с i -го в j -й пункт; y_i – булева переменная, которая равна единице, если потенциальное место расположения i -го консолидирующего склада используется, и нулю – в противном случае.

На основе введенных параметров и переменных модель задачи консолидации и разукрупнения готовой продукции записывается в следующем виде. Найти такое значение кортежа переменных $(\{\hat{y}_{ij}^l\}, \{\tilde{y}_{ij}^p\}, \{y_i\})$, которое обеспечивает минимальное значение целевой функции

$$F_2(\{\hat{y}_{ij}^l\}) = \sum_{i=1}^{m_1+m_2} \sum_{j=1}^{m_2+m_3} \sum_{l=1}^L \bar{C}_l h_{ij} \hat{y}_{ij}^l \quad (5)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{m_3} \tilde{y}_{ij}^p = \bar{\alpha}_{jp}, \quad j = \overline{m_2+1, m_2+m_3}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{m_2} \tilde{y}_{ij}^p \leq \tilde{\alpha}_{ip}, \quad i = \overline{m_2+1, m_2+m_1}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=m_2+1}^{m_2+m_1} \tilde{y}_{ik}^p = \sum_{j=m_2+1}^{m_2+m_3} y_{kj}^p, \quad k = \overline{1, m_2}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^P \tilde{y}_{ij}^p \leq \sum_{l=1}^L V_l \hat{y}_{ij}^l, \quad i = \overline{1, m_2+m_1}, \quad j = \overline{1, m_2+m_3}, \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^{m_2} y_k = \mu_2, \quad (10)$$

$$\sum_{j=m_2+1}^{m_2+m_3} \sum_{p=1}^P \tilde{y}_{kj}^p \leq y_k \cdot \sum_{j=m_2+1}^{m_2+m_3} \sum_{p=1}^P \bar{\alpha}_{jp}, \quad k = \overline{1, m_2}, \quad (11)$$

$$\tilde{y}_{ij}^p \geq 0, \quad i = \overline{1, m_2+m_1}, \quad j = \overline{1, m_2+m_3}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (12)$$

$$\hat{y}_{ij}^l \in N, \quad i = \overline{1, m_2+m_1}, \quad j = \overline{1, m_2+m_3}, \quad l = \overline{1, L}, \quad (13)$$

$$y_k \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, m_2}, \quad (14)$$

где N – множество целых положительных чисел.

Целевая функция (5) определяет транспортные затраты на перевозку продукции с пунктов производства в региональные склады. Условие (6) определяет, что продукция p -го типа должна быть поставлена в j -й региональный склад с уровня консолидирующих складов в объеме $\bar{\alpha}_{jp}$. Условие (7) определяет ограничение на объем перевозки p -го вида продукции с i -го пункта производства на уровень консолидирующих складов. Правая часть равенства (8) определяет объем p -го вида продукции, которая поступает на k -й консолидирующий склад с пунктов производства продукции, а левая часть – объем p -го вида продукции, который выходит с k -го консолидирующего склада и поступает на склады регионального уровня. Условие (9) определяет, что на каждом (i, j) -м маршруте суммарный объем готовой продукции по всем видам не должен превосходить суммарную грузоподъемность по

всем транспортным средствам, которые эксплуатируются на (i, j) -м маршруте. Равенство (10) указывает, что эксплуатируется μ_2 консолидирующих складов. Условие (11) означает, что если некоторый k -й консолидирующий склад не используется, то суммарный поток продукции, который выходит из него, равен нулю и при использовании склада не должен превосходить суммарный объем продукции, поступающей на все региональные склады.

Выводы. В работе рассматривается детерминированная задача транспортной логистики при эшелонированной поставке товаров массового использования с двумя промежуточными уровнями, которые представлены разукрупняющими и консолидирующими складами. Учитывая большую размерность задачи, она декомпозирована на отдельные подзадачи линейного программирования. Одна из подзадач содержит булевы переменные, а вторая: непрерывные, целочисленные и булевы. Для их решения использован метод ветвей и границ.

Список литературы: 1. Сергеев В. И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. и научн. ред. проф. В. И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 976 с. 2. Сток Дж. Р. Стратегическое управление логистикой / Сток Дж. Р., Ламберт Д. М. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797 с. 3. Бауэрсокс Доналд Дж. Интегрированная цепь поставок / Бауэрсокс Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 640 с. 4. Годлевский М. Д. Технология формирования системы организационного управления логистикой дистрибуции при стратегическом планировании / М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич, И. М. Годлевский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2012. – № 4/3 (58). – С. 17–21. 5. Годлевский М. Д. Классификация иерархических систем управления и координации бизнес-процессов цепочек поставок / М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – № 3. – С. 18–23.

Bibliography (transliterated): 1. Sergeev, V. I., ed. *Korporativnaja logistika. 300 otvetov na voprosy professionalov*. Moscow: INFRA-M, 2005. Print. 2. Stok, Dzh. P. and D. M. Lambert. *Strategicheskoe upravlenie logistikoj*. Moscow: INFRA-M, 2005. Print. 3. Baueroks, Donall Dzh., and Deyvid Dzh. Kloss. *Integrirovannaja tsep' postavok*. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. Print. 4. Godlevskiy, M. D., A. A. Stankevich and I. M. Godlevskiy. "Tehnologija formirovanija sistemy organizatsionnogo upravlenija logistikoj distrib'utsii pri strategicheskom planirovanii." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. No 4/3 (58). 2012. 17–21 Print. 5. Godlevskiy, M. D., and A. A. Stankevich. "Klassifikatsija ijerarkhicheskikh sistem upravlenija i koordinatsii biznes-protsessov tsepoček postavok." *Visnyk NTU "HPI"*. No 3. Kharkiv: NTU «HPI», 2010. 18–23. Print

Поступила (received) 08.12.2014

Ю. И. ДОРОФЕЕВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО АНАЛОГА ПРОИЗВОДНОЙ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЙ В ЗАКОНЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Рассматривается задача синтеза стабилизирующего управления запасами в условиях действия неизвестного, но ограниченного внешнего спроса и структурных ограничений на значения состояний и управляющих воздействий. Управление строится в виде линейной нестационарной обратной связи с использованием дискретного аналога производной вектора состояний. Для оценивания множества достижимости замкнутой системы применяется понятие инвариантного эллипсоида. С помощью техники линейных матричных неравенств задача синтеза управления сведена к совокупности задач полуопределенного программирования. Рассмотрен численный пример.

Ключевые слова: управление запасами, множество достижимости, инвариантный эллипсоид, линейное матричное неравенство, задача полуопределенного программирования.

Введение. Среди основных направлений современной теории управления выделяется проблема синтеза автоматических систем в условиях неполной информации о параметрах объекта и внешних возмущающих воздействиях. Она является наиболее сложной в теоретическом плане и в то же время часто встречается в практических приложениях.

Такая задача возникает, например, при синтезе стратегии управления запасами в системе производства-хранения-распределения материальных ресурсов. Целью функционирования такой системы является полное и своевременное удовлетворение внешнего спроса при условии минимизации собственных издержек. Издержки связаны с необходимостью создания и хранения запасов материальных ресурсов.

Управление запасами заключается в определении моментов времени и объемов заказов на их восполнение. Из всего многообразия моделей управления запасами можно выделить два основных типа [1]: модель оптимального размера заказа и модель периодической проверки. В первом случае предполагается непрерывный контроль за состоянием запасов и размещение заказов фиксированного размера в моменты времени, определяемые в соответствии с выбранной стратегией. Второй тип модели предполагает проверку уровня запасов через равные промежутки времени и размещение заказа, размер которого определяется в соответствии с выбранной стратегией. Совокупность правил, по которым принимаются подобные решения, называется стратегией управления запасами. В данной работе рассматривается модель периодической проверки.

Для математического описания систем управления запасами применяются динамические сетевые модели, в которых используется представление

© Ю. И. Дорофеев, 2014

системы в виде ориентированного графа, вершины которого определяют виды и объемы управляемых запасов, а дуги представляют управляемые и неуправляемые потоки в сети. Управляемые потоки описывают процессы переработки и перераспределения ресурсов между узлами сети и процессы поставок сырья извне. Неуправляемые потоки описывают спрос на ресурсы, который формируется внешними потребителями.

Современная теория предлагает алгоритмы оптимального управления как детерминированными, так и стохастическими динамическими сетями. Однако детерминированные модели не учитывают априорную неопределенность, свойственную реальным системам управления запасами. Вероятностные – требуют точного задания вероятностных характеристик неопределенных параметров системы. При этом во многих случаях нет оснований или недостаточно информации, чтобы рассматривать факторы неопределенности как случайные, то есть адекватно описываемые теоретико-вероятностными моделями. Это приводит к необходимости учета неопределенности нестохастической (или, в общем случае, неизвестной) природы.

В работе [2] предложен подход, основанный на концепции «неизвестных, но ограниченных» воздействий. Авторы предполагают, что неизвестный спрос принадлежит заданному множеству, и предлагают моделировать неопределенность спроса в виде интервала, в границах которого спрос произвольным образом принимает свои значения.

В настоящее время существуют различные подходы к решению задачи синтеза систем управления в условиях неопределенности. Один из них основан на применении производной вектора состояний в законе управления [3]. Наиболее существенное развитие в рамках данного подхода получил метод локализации [4], в соответствии с которым управление формируется не только в функции вектора состояний, но и в функции вектора, содержащего производные компонент вектора состояний. Сущность данного метода состоит в организации в системе специального «быстрого» контура, что позволяет формировать желаемые динамические свойства при неполной информации о параметрах объекта и внешних возмущениях.

Целью настоящей работы является разработка на основе принципа локализации нового метода синтеза стабилизирующего управления запасами для класса линейных дискретных систем производства-хранения-распределения ресурсов, которые функционируют в условиях действия неизвестного, но ограниченного внешнего спроса.

Постановка задачи. Рассмотрим систему управления запасами, представленную в виде динамической сети, состоящей из n узлов, в дискретном времени. Переменными состояний являются наличные уровни запаса ресурсов в узлах сети. В качестве управляющих воздействий рассматриваются объемы заявок на поставку ресурсов, которые формируются узлами в текущем периоде, а возмущениями являются объемы спроса на ресурсы, которые поступают извне.

Предполагается, что структура сети известна, а состояния доступны непосредственному измерению. Для описания транспортных запаздываний используется модель дискретной задержки. Предполагается, что значения интервалов времени, определяющих длительность транспортировки ресурсов между узлами сети $T_{i,j}$, $i, j = \overline{1, n}$, $i \neq j$, и переработки ресурсов в узлах T_i , $i = \overline{1, n}$, известны и кратны периоду дискретизации. Тогда математическая модель сети описывается разностным уравнением с запаздыванием:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{x}(k) + \sum_{t=0}^{\Lambda} \mathbf{B}_t \mathbf{u}(k-t) + \mathbf{E}d(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где $\mathbf{x}(k) \in \mathbf{R}^n$ – вектор состояний;

$\mathbf{u}(k) \in \mathbf{R}^m$ – вектор управляющих воздействий;

$\mathbf{d}(k) \in \mathbf{R}^q$ – вектор внешних возмущений;

Λ – целочисленная переменная, кратная периоду дискретизации, определяющая максимальное значение запаздывания управляемых потоков между всеми парами связанных узлов сети.

Значения матриц \mathbf{B}_t , \mathbf{E} определяются структурой сети и формируются в соответствии с методикой, изложенной в работе [5]. В процессе функционирования системы должны выполняться следующие ограничения:

$$\mathbf{x}(k) \in X = \{ \mathbf{x} \in \mathbf{R}^n : 0 \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{\max} \}, \quad \mathbf{u}(k) \in U = \{ \mathbf{u} \in \mathbf{R}^m : 0 \leq \mathbf{u} \leq \mathbf{u}^{\max} \}, \quad (2)$$

где \mathbf{x}^{\max} , \mathbf{u}^{\max} – векторы, определяющие максимальные вместимости хранилищ узлов сети и объемы транспортировок, которые считаются заданными.

Относительно внешнего спроса известно лишь то, что он произвольным образом принимает значения из заданного множества:

$$\mathbf{d}(k) \in D = \{ \mathbf{d} \in \mathbf{R}^q : 0 \leq \mathbf{d}^{\min} \leq \mathbf{d} \leq \mathbf{d}^{\max} \},$$

где \mathbf{d}^{\min} , \mathbf{d}^{\max} – векторы, которые предполагаются известными.

Для системы (1) рассматривается задача синтеза стратегии управления запасами, которая для любого начального состояния $\mathbf{x}(0) \in X$ и внешнего спроса $\mathbf{d}(k) \in D$ обеспечивает полное и своевременное удовлетворение как внешнего, так и внутреннего спроса на ресурсы при условии минимизации критерия качества, определяющего собственные издержки, а также асимптотическую устойчивость замкнутой системы при ограничениях (2).

Синтез стабилизирующего управления. Первым этапом решения задачи синтеза управления является преобразование модели (1) к стандартному

виду без запаздывания на основе расширения вектора состояний $\xi(k) = [\mathbf{x}^T(k), \mathbf{u}^T(k-1), \mathbf{u}^T(k-2), \dots, \mathbf{u}^T(k-\Lambda)]^T$ [6].

Тогда уравнения расширенной модели сети примут вид:

$$\begin{aligned} \xi(k+1) &= A\xi(k) + B\mathbf{u}(k) + G\mathbf{d}(k), \\ \mathbf{x}(k) &= C\xi(k), \end{aligned} \quad (3)$$

где матрицы $A \in \mathbf{R}^{N \times N}$, $B \in \mathbf{R}^{N \times m}$, $G \in \mathbf{R}^{N \times q}$, $C \in \mathbf{R}^{n \times N}$, $N = n + m\Lambda$ имеют соответствующую блочную структуру [5].

Выполним аппроксимацию множества D значений внешнего спроса эллипсоидом наименьшего объема, уравнение которого имеет вид

$$E(\mathbf{d}_c, P_d) = \left\{ \mathbf{d}(k) \in \mathbf{R}^q : (\mathbf{d}(k) - \mathbf{d}_c)^T P_d^{-1} (\mathbf{d}(k) - \mathbf{d}_c) \leq 1 \right\}. \quad (4)$$

Параметры эллипсоида $P_d \in \mathbf{R}^{q \times q}$, $\mathbf{d}_c \in \mathbf{R}^q$ определяются путем решения задачи полуопределенного программирования (ПОП) аналогично [7].

Будем строить закон управления в виде линейной нестационарной обратной связи по сигналу невязки между наличными и страховыми уровнями запаса ресурсов, а также сигналу, который представляет дискретный аналог производной вектора состояний. Для этого вычислим первую разность по k вектора состояний расширенной модели и представим ее в следующем виде:

$$\xi(k-1) - \xi(k-2) = (\xi(k-1) - \xi^*) - (\xi(k-2) - \xi^*),$$

где $\xi^* = \underbrace{[\mathbf{x}^{*T}, \dots, \mathbf{x}^{*T}]^T}_{\Lambda+1}$ – составной вектор, в котором элементы вектора \mathbf{x}^*

определяют размеры страховых запасов ресурсов в узлах сети и вычисляются на основании верхних граничных значений спроса с учетом величины запаздывания управляемых потоков и продуктивной модели Леонтьева:

$$\mathbf{x}^* = (\mathbf{I} - \mathbf{\Pi})^{-1} \mathbf{d}^*, \quad \mathbf{d}^* = \begin{cases} \Lambda_i \mathbf{d}_i^{\max}, & i = \overline{1, q}, \\ 0, & i = q+1, n, \end{cases} \quad \Lambda_i = \max \{ T_{j,i} + T_i, i, j = \overline{1, n}, j \neq i \}, \quad (5)$$

где \mathbf{I} – единичная матрица соответствующей размерности;

$\mathbf{\Pi} \in \mathbf{R}^{n \times n}$ – технологическая матрица, значение элемента Π_{ij} которой равно количеству единиц ресурса i , необходимого для производства единицы ресурса j ;

Λ_i – величина запаздывания управляемых потоков узла i .

Закон управления будет иметь вид:

$$\mathbf{u}(k) = \mathbf{K}_0(k)(\xi(k) - \xi^*) + \mathbf{K}_1(k)(\xi(k-1) - \xi^*) - \mathbf{K}_2(k)(\xi(k-2) - \xi^*), \quad (6)$$

где $\mathbf{K}_0(k), \mathbf{K}_1(k), \mathbf{K}_2(k) \in \mathbf{R}^{m \times N}$ – матрицы коэффициентов обратной связи.

Введем блочную матрицу $\mathbf{K}(k) = [\mathbf{K}_0(k) \ \mathbf{K}_1(k) \ -\mathbf{K}_2(k)]$, составной вектор $\mathbf{v}(k) = [(\xi(k) - \xi^*)^\top, (\xi(k-1) - \xi^*)^\top, (\xi(k-2) - \xi^*)^\top]^\top$, и перепишем закон управления (6) в виде:

$$\mathbf{u}(k) = \mathbf{K}(k)\mathbf{v}(k). \quad (7)$$

Введем блочную матрицу $\mathbf{A}_b = [\mathbf{A} \ 0 \ 0]$ и представим расширенную модель замкнутой системы для управления (7) в следующем виде:

$$\xi(k+1) = (\mathbf{A}_b + \mathbf{BK}(k))\mathbf{v}(k) + \mathbf{A}\xi^* + \mathbf{G}(d(k) - d_c) + \mathbf{G}d_c. \quad (8)$$

Выполним аппроксимацию множества X допустимых значений состояний эллипсоидом, у которого вектор координат центра совпадает с вектором \mathbf{x}^* , а матрица \mathbf{P}_x вычисляется на основании вектора \mathbf{x}^{\max} :

$$\mathbf{P}_x = \text{diag}\left(\frac{1}{4}\left(\min\{\mathbf{x}_1^*, \mathbf{x}_1^{\max} - \mathbf{x}_1^*\}\right)^2, \dots, \frac{1}{4}\left(\min\{\mathbf{x}_n^*, \mathbf{x}_n^{\max} - \mathbf{x}_n^*\}\right)^2\right). \quad (9)$$

Синтез стабилизирующих алгоритмов управления, как правило, основывается на оценивании верхнего граничного значения критерия качества с помощью функции Ляпунова. Запишем критерий качества в случае бесконечного временного горизонта:

$$J_\infty(k) = \sum_{k=0}^{\infty} \left((\xi(k) - \xi^*)^\top \mathbf{W}_\xi (\xi(k) - \xi^*) + \mathbf{u}^\top(k) \mathbf{W}_u \mathbf{u}(k) \right), \quad (10)$$

где $\mathbf{W}_\xi \in \mathbf{R}^{N \times N}$, $\mathbf{W}_u \in \mathbf{R}^{m \times m}$ – положительно определенные диагональные весовые матрицы.

Первое слагаемое в выражении (10) определяет размеры штрафов за отклонение наличных уровней запаса ресурсов от страховых, второе – стоимость производства и транспортировки ресурсов. Тогда задача синтеза управления, которое минимизирует издержки системы, сводится к решению минимаксной задачи:

$$\mathbf{u}(k) = \arg \min_{\mathbf{u}(k) \in U} \left(\max_{d(k) \in E(d_c, P_d)} J_\infty(k) \right). \quad (11)$$

Определим квадратичную функцию Ляпунова, построенную на решениях системы (8):

$$V(\xi(k) - \xi^*) = (\xi(k) - \xi^*)^T \mathbf{P}(k) (\xi(k) - \xi^*), \quad (12)$$

где $\mathbf{P}(k) \in \mathbf{R}^{N \times N}$ – симметричная положительно определенная матрица.

Вычислим первую разность по k функции Ляпунова (12) в силу системы (8) и потребуем, чтобы значение функции с течением времени убывало с некоторой гарантированной скоростью:

$$V(\xi(k+1) - \xi^*) - V(\xi(k) - \xi^*) \leq -J_\infty(k). \quad (13)$$

Если (13) выполняется, то следуя [8], можно показать, что функция Ляпунова (12) $\forall k \geq 0$ определяет верхнее граничное значение критерия (10):

$$\max_{d(k) \in E(d_c, P_d)} J_\infty(k) \leq V(\xi(k) - \xi^*). \quad (14)$$

Тогда, в соответствии с (14), задача (11) эквивалентна задаче минимизации функции Ляпунова

$$\mathbf{u}(k) = \arg \min_{\mathbf{u}(k) \in U} V(\xi(k) - \xi^*),$$

которая, в свою очередь, эквивалентна задаче вычисления минимального скалярного значения $\gamma(k) > 0$ такого, что $\forall k \geq 0$ выполняется неравенство:

$$(\xi(k) - \xi^*)^T \mathbf{P}(k) (\xi(k) - \xi^*) \leq \gamma(k).$$

В соответствии с [8] введем матричную переменную $\mathbf{Q}(k) = \gamma(k) \mathbf{P}^{-1}(k)$ и получим эквивалентную задачу:

$$\gamma(k) \rightarrow \min_{\mathbf{Q}(k)} \quad (15)$$

$$\text{при ограничениях } \gamma(k) > 0, \quad (\xi(k) - \xi^*)^T \mathbf{Q}^{-1}(k) (\xi(k) - \xi^*) \leq 1,$$

которую можно трактовать как задачу минимизации инвариантного эллипсоида, который аппроксимирует множество достижимости замкнутой системы (8) при действии возмущений $\mathbf{d}(k) \in E(d_c, P_d)$. С помощью леммы Шура [9] нестрогое неравенство в (15) представим в виде линейных матричных неравенств (ЛМН) и получим задачу ПОП:

$$\gamma(k) \rightarrow \min_{\mathbf{Q}(k)}$$

$$\text{при ограничениях } \gamma(k) > 0, \quad \mathbf{Q}(k) \succeq 0, \quad \begin{bmatrix} 1 & (\xi(k) - \xi^*)^T \\ (\xi(k) - \xi^*) & \mathbf{Q}(k) \end{bmatrix} \succeq 0.$$

Следуя [8], введем матричную переменную $Y(k) = \mathbf{K}(k) \cdot \text{block diag}(\mathbf{Q}(k), \mathbf{Q}(k), \mathbf{Q}(k))$.

Используя S-процедуру [9] неравенство (13), гарантирующее убывание с течением времени значения функции Ляпунова (12), и неравенство (4), описывающее эллипсоид, аппроксимирующий множество D значений внешних воздействий, представим в виде ЛМН с помощью методики, изложенной в работе [10]. Также представим в виде ЛМН ограничения на значения состояний и управляющих воздействий (2). Соответствующий результат представлен следующей теоремой.

Теорема. Пусть матрицы $\hat{\mathbf{Q}}(k)$, $\hat{\mathbf{Y}}(k)$ получены в результате решения следующей оптимизационной задачи

$$\gamma(k) \rightarrow \min_{\mathbf{Q}(k), Y(k), \alpha} \quad (16)$$

при ограничениях на матричные переменные $\mathbf{Q}(k)$, $Y(k)$ и скалярные параметры α , $\gamma(k)$:

$$\alpha > 0, \quad \gamma(k) > 0, \quad \mathbf{Q}(k) \succeq 0, \quad \begin{bmatrix} 1 & (\xi(k) - \xi^*)^\top \\ (\xi(k) - \xi^*) & \mathbf{Q}(k) \end{bmatrix} \succeq 0, \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} \text{diag}(\mathbf{Q}(k), 0, 0) & 0 & 0 & (\mathbf{A}_B \mathbf{Q}(k) + \mathbf{B}Y(k))^\top & 0 & \text{diag}(\mathbf{Q}(k) \mathbf{W}_\xi^{-\frac{1}{2}}, 0, 0) & Y^\top(k) \mathbf{W}_u^{-\frac{1}{2}} \\ 0 & 0 & 0 & (\mathbf{A} - \mathbf{I})^\top & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{G}^\top & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{A}_B \mathbf{Q}(k) + \mathbf{B}Y(k) & \mathbf{A} - \mathbf{I} & \mathbf{G} & \mathbf{Q}(k) & \gamma(k) \mathbf{G} \mathbf{P}_d^{-\frac{1}{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma(k) \mathbf{P}_d^{-\frac{1}{2}} \mathbf{G}^\top & \gamma(k) \alpha \mathbf{I} & 0 & 0 \\ \text{diag}(\mathbf{W}_\xi^{-\frac{1}{2}} \mathbf{Q}(k), 0, 0) & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma(k) \mathbf{I} & 0 \\ \mathbf{W}_u^{-\frac{1}{2}} Y(k) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma(k) \mathbf{I} \end{bmatrix} \succeq 0, \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{P}_x & \gamma(k) \mathbf{C} \\ \gamma(k) \mathbf{C}^\top & \mathbf{Q}(k) \end{bmatrix} \succeq 0, \quad (19)$$

$$Y(k) \mathbf{v}(k) \succeq 0, \quad \begin{bmatrix} \mathbf{u}^{\max} \mathbf{v}^+(k) Y^\top(k) & Y(k) \\ Y^\top(k) & \text{block diag}(\mathbf{Q}(k), \mathbf{Q}(k), \mathbf{Q}(k)) \end{bmatrix} \succeq 0, \quad (20)$$

где « $+$ » – псевдообращение Мура-Пенроуза.

Если задача (16)–(20) имеет решение, то система (3), замкнутая с помощью закона управления (7), для любого начального состояния $\mathbf{x}(0) \in X$ и внешнего возмущения $\mathbf{d}(k) \in E(\mathbf{d}_c, \mathbf{P}_d)$ является асимптотически устойчивой, а регулятор с матрицей

$$[\mathbf{K}_0(k) \ \mathbf{K}_1(k) \ -\mathbf{K}_2(k)] = \hat{\mathbf{Y}}(k) \cdot \text{block diag}(\hat{\mathbf{Q}}^{-1}(k), \hat{\mathbf{Q}}^{-1}(k), \hat{\mathbf{Q}}^{-1}(k)),$$

доставляет минимум инвариантному эллипсоиду для замкнутой системы (8) с ограничениями (2).

Доказательство теоремы аналогично доказательству теоремы 2 в [10] с очевидными техническими изменениями.

Отметим, что задача (16)–(20) может рассматриваться как совокупность задачи одномерной выпуклой оптимизации по параметру α и задачи ПОП.

Численный пример. В качестве примера рассмотрим модель сети, которая описывается графом $G = (\{1, 2, 3\}, \{(2, 1), (2, 3), (3, 1)\})$ [11]. Представим управляемые потоки u_1 и u_3 в виде гипердуг, а также добавим поток u_2 , который описывает поставки сырья извне (см. рис. 1). Дуги d_1, d_2 , изображенные пунктирными линиями, представляют внешний спрос. Значение времени транспортировки $T_{i,j}$ и количество единиц продукции Π_{ij} , которое требуется в соответствии с технологическим процессом, указаны для каждого управляемого потока в круглых и квадратных скобках, соответственно. Возле каждого узла в круглых скобках указаны значения времени выполнения заказа T_i .

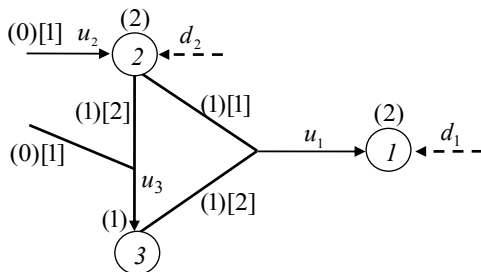


Рис. 1 – Графическое представление модели сети

Специфика рассматриваемой сети в том, что на узел 1 действует только внешний спрос; на узел 2 действует как внешний, так и внутренний спрос со стороны узлов 1 и 3; на узел 3 – только внутренний спрос со стороны узла 1.

Заданы структурные ограничения $\mathbf{x}^{\max} = [300, 2000, 500]^T$, $\mathbf{u}^{\max} = [80, 1000, 200]^T$, граничные значения внешнего спроса $\mathbf{d}^{\min} = [20, 50]^T$, $\mathbf{d}^{\max} = [60, 100]^T$ и начальные условия $\mathbf{x}(0) = [280, 1100, 400]^T$.

После вычисления величины запаздывания материальных потоков всех узлов сети находим максимальное значение $\Lambda = 3$. По формуле (5) вычисляем уровни страховых запасов узлов сети $\mathbf{x}^* = [180, 1100, 360]^T$. В результате

решения соответствующей задачи ПОП [7] определяем параметры эллипсоида (4), аппроксимирующего множество D значений внешнего спроса, $d_c = [40, 75]^T$ и $P_d = \text{diag}(800, 1250)$, по формуле (9) вычисляем матрицу эллипсоида, аппроксимирующего множество X допустимых значений состояний, $P_x = \text{diag}(3600, 202500, 14400)$

Диагональные элементы весовых матриц W_ξ и W_u выбраны равными 1.0×10^{-8} и 5.0×10^{-7} , соответственно. Численное решение задачи (16)–(20) получено с помощью свободно распространяемого пакета CVX [12].

Моделирование осуществлялось в течение 15 периодов. Результаты моделирования для узла 1 при $\alpha = 3.0$ и скачкообразно изменяющемся внешнем спросе представлены на рис. 2.

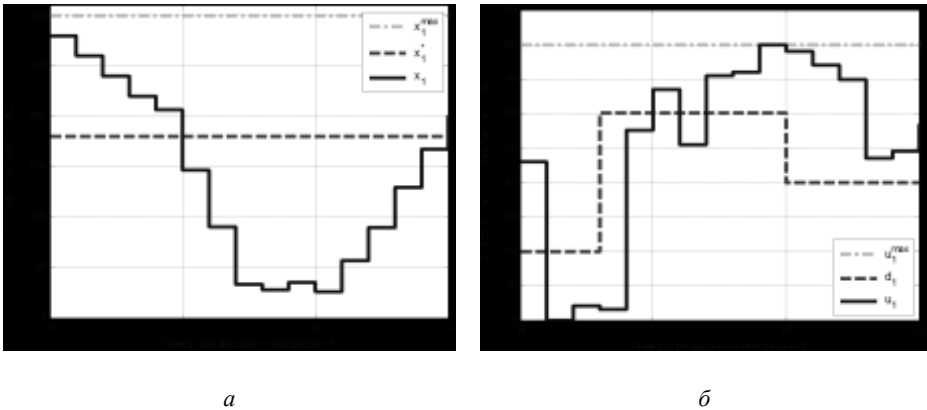


Рис. 2 – Графики переходных процессов для узла 1 системы управления запасами:
 а – значения наличного и страхового уровней запасов;
 б – значения внешнего спроса и управляющих воздействий

Выводы. Предложен подход к решению задачи синтеза стабилизирующего управления запасами в динамических сетях со структурными ограничениями в условиях действия неизвестного, но ограниченного внешнего спроса. Закон управления строится в виде линейной нестационарной обратной связи с использованием дискретного аналога производной вектора состояний, что позволяет формировать желаемые динамические свойства замкнутой системы при неполной информации о внешних возмущениях. Для оценивания множества достижимости замкнутой системы применяется понятие инвариантного эллипсоида. С помощью техники линейных матричных неравенств численное решение задачи синтеза сведено к совокупности задач полуопределенного программирования, и опирается на свободно распространяемые программные реализации методов решения задач выпуклой оптимизации.

Список литературы: 1. Лотоцкий В. А. Модели и методы управления запасами / В. А. Лотоцкий, А. С. Мандель. – М.: Наука, 1991. – 189 с. 2. Bertsekas D. P. Recursive state estimation for a set-membership description of uncertainty / D. P. Bertsekas, I. Rhodes // IEEE Trans. Automat. Control. – 1971. – Vol. 16. – P. 117–128. 3. Востриков А. С. Системы с производной вектора состояния в управлении / А. С. Востриков, В. И. Уткин, Г. А. Французова // Автоматика и телемеханика. – 1982. – № 3. – С. 22–25. 4. Востриков А. С. Принцип локализации в задаче синтеза систем автоматического управления / А. С. Востриков // Изв. вузов. Сер.: Приборостроение. – 1988. – № 2. – С. 42–49. 5. Дорофеев Ю. И. Построение математических моделей управляемых сетей поставок с учетом запаздываний потоков / Ю. И. Дорофеев, А. А. Никульченко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 1. – С. 16–27. 6. Blanchini F. Feedback control of production-distribution systems with unknown demand and delays / F. Blanchini, R. Pesenti, F. Rinaldi, W. Ukovich // IEEE Trans. on robotics and automation. – 2000. – Vol. 16. – No. 3. – P. 313–317. 7. Дорофеев Ю. И. Синтез системы оптимального управления запасами с дискретным ПИД-регулятором с использованием техники линейных матричных неравенств / Ю. И. Дорофеев // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – X.: ХУПС, 2014. – Вип. 4(41). – С. 34–41. 8. Boyd S. Linear matrix inequalities in system and control theory / S. Boyd, E. Ghaoui, E. Feron, V. Balakrishnan. – Philadelphia: SIAM, 1994. – 187 p. 9. Баландин Д. В. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств / Д. В. Баландин, М. М. Коган. – М.: Физматлит, 2007. – 280 с. 10. Дорофеев Ю. И. Робастное стабилизирующее управление запасами в сетях поставок в условиях неопределенности внешнего спроса и интервалов задержки пополнения запасов / Ю. И. Дорофеев, Л. М. Любчик, А. А. Никульченко // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2014. – № 5. – С. 146–160. 11. Blanchini F. Least inventory control of multistorage systems with non-stochastic unknown inputs / F. Blanchini, F. Rinaldi, W. Ukovich // IEEE Trans. on robotics and automation. – 1997. – Vol. 13. – P. 633–645. 12. Grant M. CVX: MATLAB software for disciplined convex programming, version 1.21 / M. Grant, S. Boyd // Режим доступа: <http://cvxr.com/cvx>.

Bibliography (transliterated): 1. Lototskij, V. A., and A. S. Mandel'. *Modeli i metody upravlenija zapasami*. Moscow: Nauka, 1991. Print. 2. Bertsekas, D. P., and I. Rhodes. "Recursive state estimation for a set-membership description of uncertainty." IEEE Trans. Automat. Control. Vol. 16. 1971. 117–128. Print. 3. Vostrikov, A. S., V. I. Utkin, and G. A. Francuzova. "Sistemi s proizvodnoj vektora sostojanija v upravlenii." *Avtomatika i telemekhanika*. No. 3. 1982. 22–25. Print. 4. Vostrikov, A. S. "Princip lokalizacii v zadache sinteza sistem avtomaticheskogo upravlenija." *Izv. vuzov. Ser.: Priborostroenie*. No. 2. 1988. 42–49. Print. 5. Dorofieiev, Yu. I., and A. A. Nikulchenko. "Postroenie matematicheskikh modelej upravliaemih setej postavok s uchetom zapazdivanij potokov." *Sistemni doslidzhennia ta informacijni tehnologii*. No. 1. 2013. 16–27. Print. 6. Blanchini, F., et al. "Feedback control of production-distribution systems with unknown demand and delays." IEEE Trans. on robotics and automation. Vol. 16. No. 3. 2000. 313–317. Print. 7. Dorofieiev, Yu. I. "Sintez sistemy optimal'nogo upravlenija zapasami s diskretnim PID-regulatorom s ispol'zovaniem tehniki linejnih matrichnih neravenstv." *Zbirnik naukovih prac' Kharkivs'kogo universitetu Povitrianih Sil*. Vip. 4(41). 2014. 34–41. Print. 8. Boyd, S., et al. *Linear matrix inequalities in system and control theory*. Philadelphia: SIAM, 1994. Print. 9. Balandin, D. V., and M. M. Kogan. *Sintez zakonov upravlenija na osnove linejnih matrichnih neravenstv*. Moscow: Fizmatlit, 2007. Print. 10. Dorofieiev, Yu. I., L. M. Lyubchik and A. A. Nikulchenko. "Robastnoe stabilizirujushee upravlenie zapasami v setiah postavok v uslovijah neopredelennosti vneshnego sprosa i intervalov zaderzhki popolnenija zapasov." *Izv. RAN. Teorija i sistemi upravlenija*. No. 5. 2014. 146–160. Print. 11. Blanchini, F., F. Rinaldi and W. Ukovich. "Least inventory control of multistorage systems with non-stochastic unknown inputs." IEEE Trans. on robotics and automation. Vol. 13. 1997. 633–645. Print. 12. Grant, M., and S. Boyd. CVX: MATLAB software for disciplined convex programming, version 1.21 <<http://cvxr.com/cvx>>.

Поступила (received) 05.12.2014

В. П. СЕВЕРИН, д-р техн. наук, проф., проф. НТУ «ХПИ»;
Е. Н. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, доц., доц. НТУ «ХПИ»;
Д. А. ЛЮТЕНКО, магистрант НТУ «ХПИ»;
Е. Ю. БОБУХ, магистрант НТУ «ХПИ»

ПРОБЛЕМА МАНЕВРЕННОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС И РАЗВИТИЕ МОДЕЛЕЙ ЕГО СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Проанализирована проблема маневренности энергоблоков АЭС. Приведена модель энергоблока ВВЭР-1000 для анализа переходных процессов. Переходные процессы изменения состояния энергоблока не противоречат возможности его работы в маневренных режимах. Многозонная модель реактора использована для исследования комбинированного метода управления. Отмечены недостатки методов управления энергоблоком для развития его системы управления.

Ключевые слова: энергоблок атомной электростанции, система автоматического управления, методы анализ и синтеза, математические модели, переходные процессы.

Введение. В связи с существенным несоответствием между выработкой и потреблением электрической энергии в энергосистеме Украины в течение суток и из-за малой суммарной доли установок для регулирования суточного графика нагрузки энергосистемы актуальна проблема модернизации действующих энергоблоков к новым специфическим условиям работы путем создания системы автоматического управления (САУ) мощности энергоблока, которая позволит эксплуатировать энергоблоки атомных электрических станций (АЭС) в маневренных режимах [1–4].

Целью статьи является обобщение задач усовершенствования моделей системы автоматического управления мощностью энергоблока АЭС, которая позволит эксплуатировать энергоблок в маневренных режимах суточного цикла для поддержания баланса мощности в энергосистеме Украины.

Анализ проблемы маневренности энергоблоков АЭС. Самые мощные в энергосистеме Украины 13 энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 эксплуатируются на четырех АЭС [1]. Сегодня все АЭС с ВВЭР-1000 эксплуатируются в режиме стабилизации мощности энергоблока на заданном уровне, хотя оборудование первого контура рассчитано на эксплуатацию в режиме маневрирования мощностью [4, 5]. Это, прежде всего, связано с тем, что в настоящее время маневрирование мощностью реакторной установки осуществляется операторами в ручном режиме по требованию диспетчеров энергосистемы. Выполнение маневра операторами в ручном режиме очень опасно, так как при управлении необходимо одновременно контролировать изменение многих нейтронно-физических и технологических параметров, что приводит к необходимости учитывать влияние человеческого фактора на безопасность АЭС.

Перспективными планами развития энергетики Украины предусмотрено строительство новых энергоблоков повышенной безопасности и модернизация существующих энергоблоков [1]. С увеличением доли АЭС в энергосистеме Украины возникает необходимость их подключения к регулированию нагрузки энергосистемы, поскольку существует несоответствие между производством и потреблением электроэнергии в течение суточного цикла. Это особенно актуально в связи с перспективой интеграции Объединенной электроэнергетической системы Украины в Европейскую энергетическую систему, где требования к качеству электроэнергии существенно выше. При модернизации существующих энергоблоков АЭС и проектировании энергоблоков нового поколения особое внимание необходимо уделять повышению их безопасности и надежности, улучшению маневренных характеристик.

Сложная проблема маневренности энергоблоков АЭС для своего решения требует развития математических моделей энергоблока как объекта управления и создания новых САУ. Решением этой проблемы может стать создание САУ энергоблока, которая позволит эксплуатировать энергоблок в режиме маневрирования мощностью при условии повышения безопасности и надежности эксплуатации энергоблока, а также при сохранении экономической эффективности энергоблока.

Модель энергоблока АЭС. Математическая модель энергоблока АЭС как объекта управления построена на основании развития моделей его основных элементов: ядерного реактора ВВЭР-1000, выходного трубопровода реактора, САУ парогенератором, соединения выходного трубопровода парогенератора, главного циркуляционного насоса и входного трубопровода реактора, САУ паровой турбины [2, 3]. Объединяя модели этих элементов, получим модель энергоблока для основных нормальных режимов эксплуатации:

$$dX_U/dt = A_U X_U + B_U u + B_{UE} v_{Es}, \quad v = C_U X_U, \quad \pi_k = C_{Uk} X_U, \quad (1)$$

где X_U – вектор состояния энергоблока;

$A_U, B_U, B_{UE}, C_U, C_{Uk}$ – матрицы параметров СДУ энергоблока;

u – управляющий сигнал регулятора нейтронной мощности;

v_{Es} – сигнал изменения электрической мощности;

v – нейтронная мощность реактора;

π_k – давление пара в главном паровом коллекторе.

Порядок этой модели $n = 40$. Применим полученную модель энергоблока для построения его систем управления в нормальных режимах эксплуатации «Н» и «Т» [2].

Синтез САУ в режиме «Н». Модель системы управления энергоблоком в режиме «Н», которой соответствует система автоматического поддержания

нейтронной мощности реактора, построена по модели энергоблока (1) с пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором мощности:

$$dX_Q/dt = A_Q X_Q + B_Q v_s + B_{QE} v_{Es}, \quad v = C_Q X_Q, \quad \pi_k = C_{Qk} X_Q, \quad (2)$$

$$X_Q = \begin{pmatrix} X_U \\ u_I \end{pmatrix}, \quad A_Q = \begin{pmatrix} A_U - B_U K_P C_U & B_Q \\ -\lambda_I C_U & 0 \end{pmatrix}, \quad B_Q = \begin{pmatrix} K_P B_U \\ \lambda_I \end{pmatrix},$$

$$C_Q = (C_U \ 0), \quad C_{Qk} = (C_{Uk} \ 0),$$

где v_s – уставка мощности;

u_I – переменная интегральной части ПИ регулятора;

K_P и λ_I – параметры ПИ регулятора.

Порядок этой модели $n = 41$. Аналогично построена модель с нечетким ПИ регулятором мощности.

Путем решения задач оптимального синтеза выполнена оптимизация параметров регуляторов мощности и получено желаемое время регулирования $t_e = 100$ с. На рис. 1 для двух ПИ регуляторов мощности – линейного (PI) и нечеткого (FPI), показаны

переходные процессы изменения мощности реактора в оптимальных системах, имеющие одинаковое время регулирования $t_c = 100$ с. Самый медленный процесс, который отвечает минимуму улучшенной интегральной квадратичной оценки (PI), предпочтителен для безопасности энергоблока.

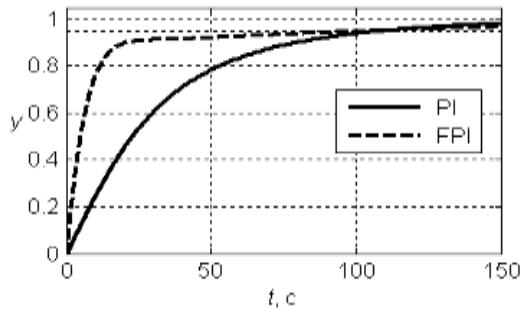


Рис. 1 – Процессы изменения мощности реактора

Синтез САУ в режиме «Т». Модель системы управления режимом «Т», которой соответствует система автоматического поддержания давления пара перед турбиной, построена по модели (2) с ПИ регулятором давления (РД):

$$dX_P/dt = A_P X_P + B_P v_{Es}, \quad \pi_k = C_P X_P,$$

$$X_P = \begin{pmatrix} X_Q \\ u_I \end{pmatrix}, \quad A_P = \begin{pmatrix} A_Q - B_Q K_P C_{Qk} & B_Q \\ -\lambda_I C_{Qk} & 0 \end{pmatrix}, \quad B_P = \begin{pmatrix} B_{QE} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad C_P = (C_{Qk} \ 0),$$

Аналогично построены модели с пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) и нечетким ПИ регуляторами давления. Выполнена оптимизация параметров регуляторов давления. На рис. 2 представлены переходные процессы изменения давления пара в главном паровом коллекторе в оптимальных системах поддержания давления с ПИ (PI), ПИД (PID) и нечетким ПИ (FPI) регуляторами. Эти результаты позволяют сделать вывод, что оптимальный традиционный линейный ПИД регулятор давления обеспечивает наиболее быстрый переходный процесс с небольшими колебаниями.

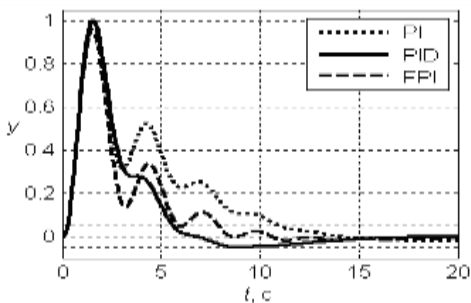


Рис. 2 – Процессы изменения давления пара

Проведенные на основании линейных моделей исследования динамики САУ энергоблока в нормальных режимах эксплуатации «Н» и «Т», показывают, что переходные процессы изменения состояния энергоблока длятся не более 100 с, а это не противоречит возможности работы энергоблока в маневренных режимах. Однако при этом не учтены жесткие требования со стороны безопасности ядерного реактора и функциональные ограничения со стороны теплового оборудования.

Развитие моделей ядерного реактора. Залогом надежной и безопасной эксплуатации энергоблока является устойчивость состояния реактора при возмущениях как во время работы на постоянном уровне нагрузки, так и в маневренном режиме. Количественной мерой устойчивости реактора служит аксиальный офсет (АО) – технологическая характеристика равномерности энерговыделения и количественная мера устойчивости ядерного реактора, поэтому показателем эффективности эксплуатации энергоблока с ВВЭР-1000 является минимизация отклонения АО. Максимальное допустимое отклонение АО составляет 2,59 % и является граничным, превышение его запрещается регламентом и приводит к вынужденной остановке энергоблока.

Для исследования работы реактора ВВЭР-1000 в маневренных режимах необходимо развитие его модели как объекта управления с учетом АО и влияния изменения технологических параметров на устойчивость состояния реактора. Многозонная модель реактора, включающая идентифицированную модель борного регулирования, позволяет вычислить аксиальный офсет и учесть изменения технологических параметров: тепловую мощность, температуру теплоносителя на выходе из активной зоны (АЗ) реактора, температуру твэлов по высоте АЗ реактора [5]. На основании многозонной модели реактора разработана модель энергоблока как объекта управления, которая

позволяет уменьшить погрешности моделирования статических и динамических свойств энергоблока, а также модели систем управления энергоблоком, позволяющие исследовать процессы управления в маневренных режимах энергоблока в течение суточного цикла [5].

Комбинированное управление. Компромиссно-комбинированный метод управления, в котором температура теплоносителя на входе в АЗ реактора поддерживается постоянной из-за перемещения регулирующих клапанов турбины и изменения давления пара, позволяет устранить неконтролируемые возмущения в нижней части активной зоны реактора и стабилизировать нижнюю часть активной зоны реактора. Это обеспечивается путем применения двух новых контуров управления. В первом контуре поддерживается постоянная температура теплоносителя на входе в АЗ реактора за счет управления давлением пара в парогенераторе, во втором контуре аксиальный офсет поддерживается постоянным за счет изменения положения регулирующей группы органов регулирования в системе управления и защиты реактора [5]. Имитационное моделирование САУ с компромиссно-комбинированным методом подтверждает, что на протяжении суточного маневра мощностью энергоблока АО реактора не изменяется. Усовершенствованная САУ позволит обеспечить устойчивость реактора и перевести энергоблок АЭС с ВВЭР-1000 в маневренный режим для поддержания баланса мощности в энергосистеме Украины с минимальным участием эксплуатационного персонала и с учетом требований регламента к надежности и безопасности эксплуатации энергоблока.

Недостатки существующих методов управления. При анализе компромиссно-комбинированного метода управления использована многозональная нелинейная модель реактора, входящая в систему управления энергоблоком, которую желательно представить в векторном виде с относительными безразмерными переменными состояния и соответствующими коэффициентами, как это принято в классической теории автоматического управления, что позволит уменьшить погрешности вычислений при интегрировании системы дифференциальных уравнений, уменьшить объем вычислений и сократить время интегрирования. Для вычисления значений параметров регуляторов в системах управления использован графоаналитический метод [5], хотя более эффективна методика настройки регуляторов на основе методов оптимизации с непосредственным использованием прямых показателей качества систем [2]. Имитационное моделирование процессов управления энергоблоком АЭС выполняется в среде Simulink компьютерной системы MATLAB, что требует времени для разработки схем систем управления и вычислений процессов управления, а широкие возможности самой системы MATLAB для ускорения вычислений не используются. Для сравнительного анализа качества системы управления мощностью энергоблока на основе компромиссно-комбинированного метода исследуется суточный маневр мощностью энергоблока на уровнях мощности 100% и 80%. При этом используются нелинейные модели

систем управления, для которых не выполняется принцип суперпозиции. Целесообразно провести исследования процессов управления и на других уровнях мощности. В усовершенствованной системе управления энергоблоком АЭС со стабилизацией температуры теплоносителя на входе в активную зону реактора предложено поддерживать постоянную температуру теплоносителя путем перемещения клапанов паровой турбины, которые предназначены для регулирования частоты вращения ротора турбины. Это приведет к изменению частоты, что тоже нужно исследовать.

Выводы. Проанализирована проблема маневренности энергоблоков АЭС. Приведена линейная модель энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000. На основании этой модели выполнен синтез систем управления в нормальных режимах эксплуатации. Приведены переходные процессы изменения состояния энергоблока, которые не противоречат возможности его работы в маневренных режимах. Многозонная модель реактора использована в модели энергоблока для исследования компромиссного комбинированного метода управления, обеспечивающего устойчивость реактора. Проанализированы недостатки методов управления энергоблоком с целью усовершенствования его системы управления.

Список литературы: 1. Ястребенецкий М. А. Системы управления и защиты ядерных реакторов / М. А. Ястребенецкий, Ю. В. Розен, С. В. Виноградская [и др.]. – К. : Основа-Принт, 2011. – 768 с. **2.** Северин В. П. Оптимизация прямых показателей качества систем автоматического управления генетическими алгоритмами / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, К. А. Тарасенко // Вісник НТУ «ХПІ». – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 3 (977). – С. 21–26. **3.** Северин В. П. Синтез оптимальных систем автоматического управления энергоблока АЭС в нормальных режимах эксплуатации / В. П. Северин, Е. Н. Никулина // Ядерна та радіаційна безпека. – 2013. – Вип. 3 (59). – С. 62–68. **4.** Халимончук В. А. Динамика реактора с распределенными параметрами в исследованиях переходных режимов эксплуатации ВВЭР и РБМК / В. А. Халимончук. – К. : Основа, 2008. – 228 с. **5.** Пельх С. Н. Способ стабилизации аксиального распределения нейтронного поля при маневрировании мощностью ВВЭР-1000 / С. Н. Пельх, М. В. Максимов, Т. А. Цисельская, В. Е. Баскаков // Ядерная и радиационная безопасность. – 2011. – № 1 (49). – С. 27–32.

Bibliography (transliterated): 1. Jastrebenetskij, M. A., Ju. V. Rozen, S. V. Vinogradskaja [и др.]. *Sistemy upravlenija i zashity jadernyh reaktorov*. Kiev: Osнова-Print, 2011. Print. **2.** Severin, V. P., E. N. Nikulina and K. A. Tarasenko. "Optimizacija prjamyh pokazatelej kachestva sistem avtomaticheskogo upravlenija geneticheskimi algoritmami." *Visnyk NTU "KhPI"*. No. 3 (977). 2013. 21–26. Print. **3.** Severin, V. P., E. N. Nikulina "Sintez optimal'nyh sistem avtomaticheskogo upravlenija energobloka AES v normal'nyh rezhimah ekspluatatsii" *Jaderna ta raditsijna bezpeka*. No. 3 (59). 2013. 62–68. Print. **4.** Halimonchuk, V. A. *Dinamika reaktora s raspredelennymi parametrami v issledovanijah perehodnyh rezhimov ekspluatatsii VVER i RBMK*. Kiev: Osнова, 2008. Print. **5.** Pelyh, S. N., M. V. Maksimov, T. A. Tsel'skaja and V. E. Baskakov. "Sposob stabilizatsii aksial'nogoraspredelenija neitronnogo polja pri manevrirovanii moshnost'ju VVER-1000." *Jadernaja i raditsionnaja bezopasnost'*. No. 1 (549). 2011. 27–32. Print.

Поступила (received) 12.12.2014

С. А. ЛЯШЕНКО, канд. техн. наук, доц. ХНТУСХ им. П. Василенко,
Украина, Харьков

5СИНТЕЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В САХАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В работе были рассмотрены вопросы управления сложными динамическими процессами, имеющими место в сахарном производстве. Сделан анализ существующих методов управления, а также сделан анализ управления процессами в сахарном производстве на основе применяемых нейронных сетей. Детально проанализированы различные подходы в системе нейроуправления технологическими процессами в сахарном производстве. Полученные алгоритмы, в соответствии с критериями качества управления, позволяют учитывать изменение входных и выходных сигналов в системе управления процессами.

Ключевые слова: сахарное производство, технологический процесс, нейронная сеть, управление, алгоритм, критерий качества, объект, сигнал, идентификация.

Введение. Сахарное производство в Украине занимает одно из центральных мест в перерабатывающей отрасли. Эффективность сахарного производства зависит от внедрения современных технологий и оборудования. Одним из основных способов, позволяющих достичь эффективности сахарного производства, является использование АСУ ТП. Современные АСУ ТП должны базироваться на передовых достижениях науки [1].

Анализ состояния вопроса. Сахарное производство – сложный технологический процесс, в котором задействовано значительное количество разнообразного оборудования, узлов и машин. Так как производство сахара сложный процесс, при котором постоянно меняются показатели перерабатываемого сырья и соответственно меняются и параметры технологического процесса, то для более эффективного использования этого оборудования необходимо уделять внимание вопросам управления работой этого оборудования. Эффективное управление работой оборудования осуществляется за счет применения современной компьютерной техники, ее программного обеспечения и исполнительного оборудования, выполняющего поставленные задачи в системе автоматизации технологических процессов сахарного производства. При таких условиях одним из наиболее эффективных путей улучшения качественных и количественных показателей работы сахарного производства является применение принципиально новых подходов к комплексной автоматизации оборудования, основанных на современных интеллектуальных технологиях, в частности, искусственных нейронных сетях (ИНС), в сочетании с методами адаптивной обработки информации и управления [2, 3]. При нейросетевом подходе исследуемый объект представляется в виде ИНС, со-

держашей помимо входного и выходного один или несколько скрытых слоев, каждый из которых состоит из определенного количества нейронов, реализующих заданную функцию активации.

Целью данной работы является исследование и обобщение эффективных нейросетевых методов управления сложными динамическими технологическими процессами в сахарном производстве.

Задачи работы:

1. Рассмотрение существующих методов управления динамическими объектами.
2. Определение структурных составляющих в системах управления.
3. Получение алгоритмов работы этих систем нейроуправления.
4. Оценка эффективности систем нейроуправления.

Прямые и непрямые методы нейросетевого управления. Для управления объектами с изменяющимися параметрами используются два принципиально разных метода адаптивного управления: прямое и непрямое адаптивное управление. В прямом адаптивном управлении параметры контроллера, зависящие от параметров объекта, которые предполагаются известными, настраиваются таким образом, чтобы происходило уменьшение ошибки управления $e_i = y - y^*$, где y^* – выходной сигнал эталонной модели. При непрямом адаптивном управлении (управление с идентификатором) параметры объекта предполагаются неизвестными либо дрейфующими, поэтому на его первом этапе происходит оценивание параметров объекта либо их дрейфа, а на втором – полученные оценки используются в алгоритме управления.

Оба этих подхода используются и при нейросетевом управлении нелинейными объектами (рис. 1, 2). Если при прямом адаптивном управлении применяется одна искусственная нейронная сеть (ИНС), реализующая нейроконтроллер, то в случае непрямого адаптивного нейросетевого управления – две ИНС, одна из которых реализует нейроконтроллер, а другая – идентификатор. Так как в общем случае исследуемые объекты являются динамическими, при построении модели и синтезе закона управления используется информация о ряде последовательных временных тактов, что реализуется в приведенных схемах элементами задержки (ЭЗ).

В прямых методах регулятор обучается без использования модели объекта путем минимизации некоторого критерия качества функционирования системы в целом. Настройка параметров нейрорегулятора выполняется на основе алгоритма обратного распространения. При этом задача нейрорегулятора состоит в формировании управляющего воздействия $u(k)$, обеспечивающего минимальное рассогласование между выходом объекта $y(k)$ и выходом эталонной модели $d(k)$ при следующем критерии качества [4]:

$$\min_{w_{ij}^l} J = \sum_k J(k), \quad J(k) = \frac{1}{2} (d(k) - y(k))^2, \quad (1)$$

где w_{ij}^l - ij -й вес в слое l нейрорегулятора.

Функционирование нейрорегулятора задается соотношениями

$$a_i^l = \sum_{j=1}^{N^{l-1}} w_{ij}^l y_j^{l-1};$$

$$y_i^l = f(a_i^l),$$

где $y^L(k) = u(k)$;

$$y^0(k) = [d(k), d(k-1), \dots, d(k-k_d); y(k), y(k-1), \dots, y(k-k_y);$$

$$u(k-1), \dots, u(k-k_u)].$$

Применение обобщенного дельта правила дает следующий результат:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta w_{ij}^l = \eta \delta_i^l(k) y_j^{l-1}(k); \\ \delta_i^L(k) = \frac{\partial J(k)}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial y_i^L(k)} f'(a_i^L(k)) = (d(k) - y(k)) \frac{\partial y_k}{\partial y_i^L(k)} f'(a_i^L(k)); \\ \delta_i^l(k) = f'(a_i^l(k)) \sum_{n=1}^{N^{l+1}} \delta_n^{l+1}(k) w_{ni}^{l+1}, \quad l = 1, \dots, L-1 \end{array} \right. \quad (2)$$

Как следует из рис. 1 и 2, эталонная модель, на вход которой поступает некоторый ограниченный входной сигнал $r(k)$, формирует требуемый выходной сигнал $d(k)$ $y^*(k)$. Как отмечалось, в этом случае процесс управления включает два этапа: на первом осуществляется идентификация, т.е. обучение ИНС, сводящееся к минимизации ошибки идентификации $e_u = y(k) - \hat{y}(k)$; на втором определяется управление, минимизирующее ошибку управления $e_y(k) = y^*(k) - \hat{y}(k)$.

Рассмотрим задачу управления объектом, описываемым уравнением

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-m)] + \sum_{j=0}^{n-1} \beta_j u(k-j), \quad n \leq m,$$

где $f(\cdot)$ - неизвестная нелинейная функция;

β_j ($j = 0, 1, \dots, n$) - неизвестные параметры ($\beta_0 \neq 0$).

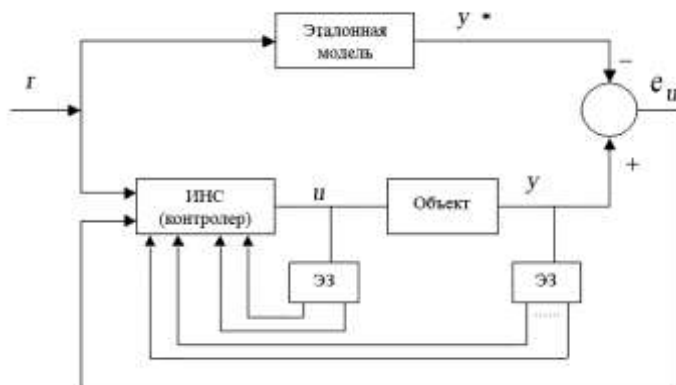


Рис. 1. – Схема прямого нейросетевого управления

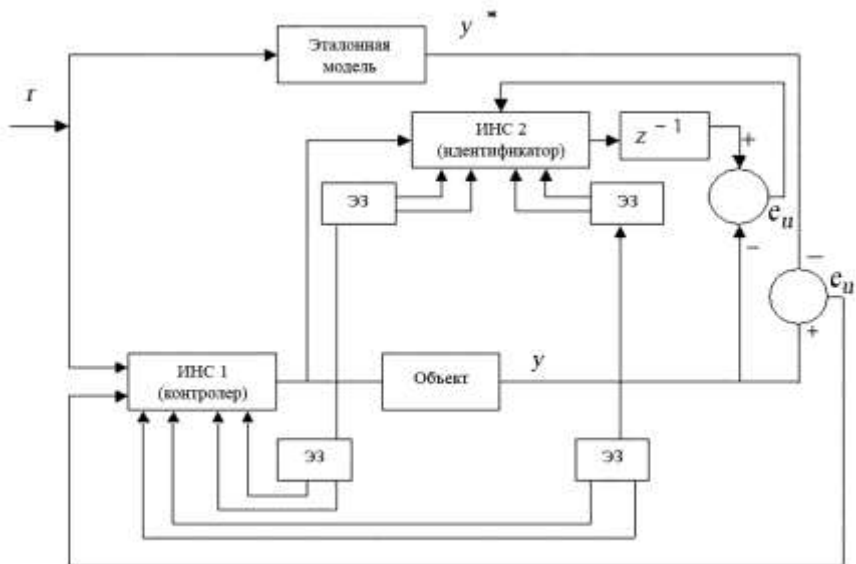


Рис. 2. – Схема непрямого нейросетевого управления

Если бы нелинейность $f(\cdot)$ и параметры объекта были известны, то искомое управление с эталонной моделью имело бы вид

$$u(k) = \frac{1}{\beta_0} \left\{ -f[y(k), \dots, y(k-m)] + \sum_{i=0}^m \alpha_i y(k-i) - \sum_{j=1}^n \beta_j y(k-j) + r(k) \right\}.$$

Решение задачи идентификации объекта позволяет получить оценки $\hat{f}(\cdot)$, $\hat{\beta}_j$ ($j = 0, 1, \dots, n$), используемые в алгоритме управления

$$u(k) = \frac{1}{\hat{\beta}_0} \left\{ -\hat{f}[y(k), \dots, y(k-m)] + \sum_{i=0}^m \alpha_i y(k-i) - \sum_{j=1}^n \hat{\beta}_j y(k-j) + r(k) \right\}. \quad (3)$$

Как показано в [4], данное управление при выборе асимптотически устойчивой эталонной модели обеспечивает выполнение $\lim_{k \rightarrow \infty} e_y(k) = 0$.

Последовательная схема нейроуправления. Для управления объектом нейронная сеть реализует отображение, обратное закону функционирования объекта. Поэтому данная структура также называется “инверсно-прямым управлением”, в котором реализуются два подхода. Целью обучения сети в обоих случаях является минимизация некоторого функционала ошибки. При этом в первом методе для обучения сети используется Якобиан объекта. Обучение сети прекращается, если ошибка становится близкой к нулю, что дает основание считать, что ИНС реализует инверсную динамику объекта управления. Данный метод называется специализированным нейроуправлением с обратным отображением.

Рассмотрим одномерный объект управления, с заданным соотношением вход-выход f_i . В качестве нейрорегулятора выберем двухслойный перцептрон с одним нейроном в выходном слое и логистическими функциями активации f_{\log} (2.5) с $\alpha = 1$ [4].

Цель управления заключается в минимизации квадратичной функции ошибки

$$E = \frac{1}{2} e^2 = \frac{1}{2} (d(k) - y(k))^2, \quad (4)$$

причем $y(k) = f_i(u(k))$.

Выходной сигнал искусственной нейронной сети может быть вычислен следующим образом:

$$u = y_1^2 = f_{\log}(a_1^2); \quad (5)$$

где $a_1^2 = \sum_{j=1}^{N^1} w_{1j}^2 y_j^1 + b_{10}^2 n_0^1$;

$$y_j^1 = f_{\log}(a_j^1); \quad a_j^1 = w_{j1}^1 d + b_{j0}^1 n_0^0.$$

Для настройки весовых коэффициентов сети воспользуемся алгоритмом наискорейшего спуска. Применяя правило вычисления производных сложных

функций, получаем следующую формулу для коррекции весов нейрона выходного слоя:

$$\Delta w_{1j}^2 = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{1j}^2} = -\eta \frac{\partial E}{\partial a_1^2} \frac{\partial a_1^2}{\partial w_{1j}^2}.$$

Опуская несложные преобразования, запишем правила настройки весов выходного слоя

$$\Delta w_{1j}^2 = -\eta \delta^2 y_j^1. \quad (6)$$

Аналогично для нейронов скрытого слоя можем записать

$$\Delta w_{j1}^1 = -\eta \delta_j^1 d, \quad (7)$$

где
$$\delta_j^1 = -\frac{\partial E}{\partial a_1^2} \frac{\partial a_1^2}{\partial y_j^1} \frac{\partial y_j^1}{\partial a_j^1} = \delta^2 w_{1j}^2 y_j^1 (1 - y_j^1).$$

Таким образом, алгоритм настройки параметров нейрорегулятора имеет вид:

1. Устанавливаются начальные значения весов w и смещений b , задается норма обучения η .
2. Вычисляется ошибка управления e и локальные ошибки выходного δ^2 и скрытого δ_j^1 слоев (с формул (5) и (7) соответственно), на основании значений сигнала на выходе эталонной модели $d(k)$, рассчитанных значений управляющего воздействия $u(k)$ и сигнала на выходе объекта управления $y(k)$.
3. Корректируются веса выходного слоя по формуле (6).
4. Корректируются веса скрытого слоя по формуле (7)
5. Повторяются действия пп.2 – 5 при $k = k + 1$.

Схема обратного распространения во времени. Другой подход состоит в построении нейросетевой модели (НСМ) объекта (нейроэмулятора), представляющей собой идентификатор системы. Функционирование системы управления состоит из двух этапов: на первом этапе нейрорегулятор обучается инверсной динамике объекта, а нейроэмулятор – прямой, и в дальнейшем используется для обратного распространения ошибки на втором этапе функционирования системы – управлении объектом.

Для обучения нейроэмулятора можно использовать последовательно-параллельную модель.

Добиться повышения скорости обучения нейроэмулятора можно, если в качестве оценки выхода объекта \hat{y} использовать сумму сигналов некоторой

модели \hat{y}_1 и сигнала с выхода ИНС \hat{y}_2 . При рассогласовании между прогнозируемым и контролируемым выходами объекта выполняется обучение сети, направленное на минимизацию ошибки идентификации. В этом случае эмулятор рассматривается как совокупность некоторой модели и нейронной сети, при этом настраиваются только параметры нейронной сети. Данный метод обеспечивает хорошие результаты при решении практических задач управления. Наилучшие результаты при этом дает использование модели авторегрессии (NAR-модель), модели авторегрессии с дополнительными входными сигналами (NARX-модель), модели авторегрессии скользящего среднего с дополнительными входными сигналами (NARMAX-модель), модели выходной ошибки (ОЕ-модель), модели Бокса-Дженкинса (BJ-модель) и других, обеспечивающих долгосрочное прогнозирование, при этом нейронная сеть обеспечивает реализацию нелинейных зависимостей.

Таким образом, общая структура системы управления нелинейным динамическим объектом показана на рис. 3. Здесь ИНС2 является идентификатором объекта и используется для получения оценки его Якобиана в целях обучения нейрорегулятора, построенного на ИНС1 и реализующего инверсно-динамическое отображение закона функционирования объекта.

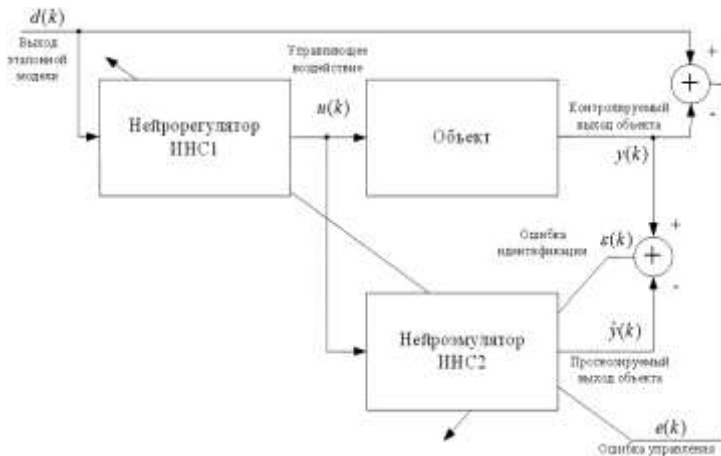


Рис. 3. – Общая схема инверсно-динамического нейрорегулирования

Обучение нейрорегулятора выполняется на основании обратного распространения ошибки через нейроэмулятор. Данная схема управления также называется «схема обратного распространения во времени».

Параллельное нейрорегулирование. Широкое распространение получили схемы параллельного нейрорегулирования. В этом случае управляющее

воздействие формируется как сумма сигналов, формируемых традиционным регулятором (например, ПИД-регулятором) и нейрорегулятором [4].

Задача нейрорегулятора состоит в том, чтобы скорректировать выходной сигнал обычного регулятора, если тот не обеспечивает требуемого качества управления.

Один из вариантов параллельной схемы нейроуправления, основанной на инверсной непрямой модели, представлен на рис. 4.

Для настройки параметров нейрорегулятора используется алгоритм обучения по ошибке обратной связи.

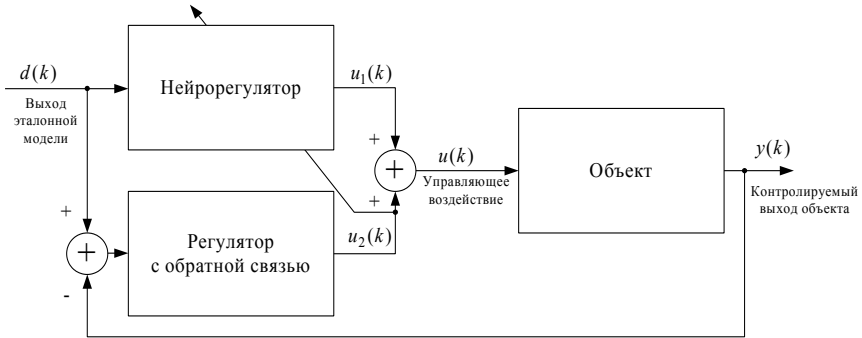


Рис. 4. – Нейроуправление по ошибке обратной связи

В ходе обучения главную роль играет внутренний контур обратной связи, и постепенно нейрорегулятор становится ведущим. По окончании обучения действие регулятора с обратной связью полностью исключается, и управление осуществляется нейрорегулятором прямого распространения, обеспечивающего высокую скорость управления даже в условиях воздействия помех.

Прямое адаптивное управление. Рассмотрим нелинейный SISO объект, описываемый NARX моделью

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-k_y), u(k), u(k-1), \dots, u(k-k_u)], \quad (8)$$

где $y(k)$ – выход объекта управления;

$u(k)$ – управляющее воздействие;

$f[\cdot]$ – неизвестная нелинейная функция;

k_u, k_y – порядки запаздывания по каналу управления и выходному каналу соответственно.

Для построения нейросетевой модели (НСМ) используем двухслойный персептрон, веса которого настроены в соответствии с алгоритмом ОР. В

качестве функций активации нейронов скрытого слоя выберем функцию гиперболического тангенса (1.35) с $\alpha=1$, а для нейрона выходного слоя выберем линейную функцию активации. Введем обозначение для вектора входных сигналов нейроэмулятора:

$$p = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-k_y), u(k), u(k-1), \dots, u(k-k_u)].$$

НСМ объекта (8) имеет вид:

$$\hat{y}(k+1) = \hat{f}[y(k), y(k-1), \dots, y(k-k_y), u(k), u(k-1), \dots, u(k-k_u)], \quad (9)$$

где $\hat{y}(k+1)$ - выход ИНС,

$\hat{f}[\cdot]$ - является оценкой неизвестной функции $f[\cdot]$.

Поскольку алгоритм обучения нейросети обеспечивает минимизацию квадрата ошибки идентификации $\varepsilon^2(k+1) = [y(k+1) - \hat{y}(k+1)]^2$, то выход НСМ $\hat{y}(k+1)$ может использоваться как прогнозируемый выход объекта управления (8). В результате чего целью управления может служить минимизация рассогласования между выходными сигналами нейросетевой и эталонной моделей. Таким образом, критерий качества управления принимает вид:

$$J = \frac{1}{2} e^2(k+1), \quad (10)$$

где $e(k+1) = d(k+1) - \hat{y}(k+1)$.

Теперь управляющее воздействие $u(k)$ может быть выбрано таким образом, чтобы доставить минимум функционалу J .

Используя нейросетевую структуру, уравнение (9) можем записать следующим образом:

$$\hat{y}(k+1) = w^2{}^T [\tanh(W^1 p + b^1)] + b^2, \quad (11)$$

где W^1 – матрица весовых коэффициентов скрытого слоя;

w^2 – вектор весовых коэффициентов выходного слоя;

b^1 – вектор весовых коэффициентов смещений скрытого слоя;

b^2 – смещение выходного слоя.

Используя для минимизации J метод наискорейшего спуска, получим следующий алгоритм управления:

$$u(k+1) = u(k) + \eta e(k+1) w^2{}^T [\operatorname{sech}^2(W^1 p + b^1)]^{-1} W^1 \frac{\partial p}{\partial u(k)}, \quad (12)$$

где $\eta > 0$ – норма обучения;

$$\frac{\partial p}{\partial u} = [0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0]^T.$$

Таким образом, алгоритм прямого адаптивного управления имеет вид:

1. Вычисляется $\hat{y}(k+1)$ в соответствии с (11).
2. Вычисляется $e(k+1)$ в соответствии с (10).
3. Выполняется настройка весов сети в соответствии с алгоритмом (2).
4. Вычисляется управляющее воздействие $u(k+1)$ в соответствии с (12).
5. Подается сигнал $u(k+1)$ на вход объекта управления.
6. Повторяются действия пп.1 – 5.

Улучшение свойств полученного алгоритма может быть достигнуто с использованием методов теории управления по прогнозированию, путем учета не только текущих значений входных и выходных сигналов объекта, но и их предсказанных значений.

Вывод. Рассмотрены различные способы управления сложными динамическими объектами с использованием нейронных систем и с учетом эффективных критериев качества управления. Получены эффективные алгоритмы управления, используемые для различных динамических процессов, в которых учитываются значения входных и выходных данных, и которые имеют место в автоматизированных системах управления ТП сахарного производства.

Список литературы: 1. Белоусов В. Ю. Стратегия автоматизации производства сахара / В. Ю. Белоусов, А. Ф. Литвинов, О. А. Потапов [и др.]. // Сахар. – 2002. – № 1. – С. 40–42. 2. Яковлев О. Системы автоматизации технологических процессов сахарного производства / О. Яковлев, С. Танцюра, А. Войтюк [и др.] // Пищевая промышленность. – 2000. – № 1. – С. 44–53. 3. Ляшенко С. А. Концепции повышения эффективности АСУТП при производстве сахара в Украине / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2008. – Вип. 74. – С. 54–63. 4. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектура, обучение, применение / В. Е. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004. – 372 с.

Bibliography (transliterated): 1. Belousov, V. Ju., et al. "Strategija avtomatizacii proizvodstva sahara" *Sahar*. No. 1. 2002. 40–42. Print. 2. Jakovlev O., et al. "Sistemy avtomatizacii tehnologicheskikh processov saharnogo proizvodstva" *Pishhevaja promyshlennost'*. No. 1. 2000. 44–53. Print. 3. Ljashenko, S. A., A. S. Ljashenko and I. S. Beljaeva. "Konceptii povyshenija jeffektivnosti ASUTP pri proizvodstve sahara v Ukraine." *Visnik Harkivs'kogo nacional'noho tehničnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka*. No. 74. 2008. 54–63. Print. 4. Bodjanskij, V. E., and O. G. Rudenko. *Iskusstvennye nejronnye seti: arhitektura, obuchenie, primenenie*. Kharkov: TELETEH, 2004. Print.

Поступила (received) 18.12.2014

П. О. ЧИКУНОВ, ст. викл., Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут, Артемівськ;

О. О. КРИВОДУБСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут, Артемівськ

МЕТОД ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ БАГАТОРІВНЕВИХ ПІДПРИЄМСТВ З СЕЗОННОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ

Пропонується метод розробки інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень підприємства з багаторівневою структурою та сезонним характером формування портфелю заказів. Розглянути питання системного аналізу характеристик діяльності підприємства, розробки логіко-формальних моделей, моделей сезонного планування та оперативного управління, функціоналів цілі управління та алгоритму функціонування інформаційної технології.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, інформаційна технологія, системний аналіз, критерії управління, багаторівневі системи управління, моделювання процесів планування і управління, алгоритми управління.

Вступ і постановка проблеми. У сучасній техніко-економічній діяльності України особливе місце займають переробні багаторівневі підприємства з сезонним характером формування портфелю замовлень. Значна частина таких підприємств містить управлінське ядро і підпорядковану йому сукупність підрозділів, що здійснюють переробку сировини у товарну продукцію широкого асортименту. Для визначення економічно-обґрунтованих планових завдань менеджерам планових служб управлінського ядра та супідрядних йому підрозділів потрібен інструментарій складання варіанту плану шляхом автоматизованого підбору оптимальних значень показників техніко-економічної діяльності з оцінкою їх ефективності по математичним моделям прогнозу та декільком критеріям.

Поточна техніко-економічна діяльність переробних підрозділів супроводжується випадковими відхиленнями від планових завдань, тобто визначає актуальність включення в інструментарій менеджерів математичних моделей і критеріїв оптимальної оцінки оперативних рішень, що дозволяють приймати найкращі техніко-економічні показники в умовах співпідпорядкованості рішень менеджерів нижнього рівня плановим завданням. Перераховані особливості визначають актуальність розробки інструментарію для менеджерів всіх рівнів, що забезпечує процес прийняття оптимальних рішень щодо управління діяльністю переробних підприємств з сезонним характером формування портфелю замовлень.

Аналіз літературних джерел. Значний внесок у розвиток методології синтезу подібного роду інструментарію внесли вітчизняні вчені В. М. Тома-

шевський, Н. Д. Панкратова, Л. М. Любчик, О. С. Куценко, О. А. Павлов і закордонні – П. Ейхгофф, Д. Бокс, Р. Шеннон і Р. Кіні. Аналіз функціональних взаємозв'язків показників діяльності багаторівневого переробного підприємства виконаний в роботі [1]. Математична модель прогнозу виробничих витрат наведена в роботі [2]. У роботах [3–4] розглянуті основні положення процесу моделювання показників техніко-економічної діяльності переробного підприємства. Постановка завдань прийняття рішення при оперативному управлінні відображена в роботі [5]. Загальні питання про структуру СППР переробного підприємства розглянуті в роботі [6].

Метою дослідження є формування теоретичних і методологічних основ проектування інформаційної технології систем підтримки прийняття рішень (ІТ СППР) для класу дворівневих підприємств з сезонним характером формування портфеля замовлень, з прогнозуванням сезонних показників, багатоваріантним визначенням оптимальних значень завантаження виробничих потужностей і оперативним управлінням підрозділами.

Методи дослідження. Для формалізації структури підприємства та взаємозв'язків кількісних показників діяльності використані методи дискретної математики. При розробці моделей прогнозу діяльності підприємства та оцінці їх адекватності були використані методи математичної статистики. Моделі оперативного прогнозу показників створені за допомогою апарату звичайних диференціальних рівнянь. При оцінці параметрів статистичних моделей використані методи теорії ймовірностей, а для динамічних моделей – методи ідентифікації та методи оптимізації. Формалізація завдань управління здійснювалася методами системного аналізу та оптимізації. Пошук оптимальних рішень здійснювався за допомогою чисельних методів розв'язання екстремальних задач.

Аналіз характеристик об'єкта управління. За допомогою методів системного аналізу виконано аналіз характеристик об'єкта управління (ОУ) – переробного підприємства з сезонним характером формування портфеля замовлень. У якості представника цього класу обрано державне підприємство (ДП) «Артемсіль», що є лідером на ринку України з видобутку та переробки харчової кам'яної солі.

В результаті аналізу характеристик ОУ виявлені два рівні в структурі управління підприємства – заводу управління та підпорядковані чотири переробні комплекси (структурні підрозділи). Відповідно до методології системного аналізу визначено цілі кожного рівня управління та виявлено функціональний взаємозв'язок між ними. Менеджери верхнього рівня на підставі портфеля замовлень прогнозують і складають план сезонної діяльності підприємства (стратегічне планування), а також план на місяць поточного сезону (тактичне планування).

На нижньому рівні складаються плани виробничої діяльності переробних комплексів, згідно плановим завданням верхнього рівня.

Менеджер нижнього рівня складає планове завдання на кожен день місяця, тобто замовлений обсяг продукції розподіляється на весь місяць, виходячи із специфіки даного комплексу, планових ремонтних робіт і т.д.

Визначено види асортименту продукції: верхній рівень працює з узагальненими видами, нижній – з розширеним асортиментом готової продукції. При плануванні виробничої діяльності визначаються обсяги дев'яти узагальнених видів продукції, складові укрупнені позиції портфеля замовлень підприємства. Асортимент портфеля замовлень може бути представлений матрицею:

$$A = (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9), \quad (1)$$

де $A_j, j = \overline{1,9}$ – узагальнені види продукції.

Аналіз структури переробних підрозділів підприємства показав незначні відмінності організаційного характеру процесів переробки солі, відвантаження готової продукції. Виходячи з цього, структура ДП «Артемсіль» може бути представлена вектором:

$$S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}, \quad (2)$$

де $S_i, i = \overline{1,4}$ – структура підрозділів, що входять до складу підприємства.

Встановлена сукупність кількісних показників техніко-економічної діяльності підприємства. Вхідні показники для верхнього рівня управління – статистичні дані по випуску продукції за останні 20 років, а саме обсяги виробленої продукції узагальнених видів і розширеного асортименту. Вихідні показники для верхнього рівня – виробничі завдання для підрозділів з випуску узагальнених видів. Вхідні показники для нижнього рівня – виробничі завдання щодо випуску узагальнених видів. Вихідні показники для нижнього рівня – види та обсяги виробництва розширеного асортименту готової продукції.

Аналогічним чином виконано аналіз часових характеристик. Часові характеристики – це стійкі інтервали часу, на які відбувається планування діяльності підприємства і підрозділів. Виділено три види інтервалів – сезон року, місяць і доба. Виявлена сезонність у діяльності підприємства, обрані періоди планування діяльності (сезон, місяць). Також визначено необхідність в оперативному управлінні діяльності підрозділів, у зв'язку зі збоями при виконанні планових завдань. Виходячи з положень часового характеру, виділені два основних сезону року, що відрізняються обсягами узагальнених видів продукції та асортименту. Визначено, що час не впливає на стратегічний і тактичний прогноз, так як обраний плановий період – сезон або місяць.

Аналіз часових показників діяльності підприємства, заснований на методології системного аналізу, дозволив визначити необхідність використання

різних видів математичного опису об'єкта управління: статистичний прогноз показників за фіксований інтервал часу (сезон, місяць сезону) для ДП «Артемсіль» в цілому і для кожної структурної складової (переробний комплекс), а також динамічний детермінований прогноз поточних показників переробних комплексів.

Аналіз витратного механізму [2] дозволив виділити питомі виробничі витрати на узагальнені види продукції та види розширеного асортименту з прив'язкою до відмінностей переробки на рудниках.

Попередня постановка задач управління. Класифікація характеристик об'єкта управління дозволила виконати попередню постановку задачі синтезу системи. Як впливає з основних джерел методології системного аналізу та управління для розробки систем управління складних ієрархічних об'єктів необхідно сформулювати структурну модель об'єкта управління, визначити умови впорядкованості і співвідпорядкованості складових частин, після чого сформулювати цілі управління для об'єкта в цілому і його структурних складових.

Фактичні дані діяльності ДП «Артемсіль» показали, що замовлення відрізняються за видами асортименту та обсягами за два сезони: весняно-літнього та осінньо-зимового. Це вказує, що протягом зазначених сезонів спостерігається значна зміна обсягів замовлень на сезони і місяці сезону. Цей фактор визначає необхідність створення інструментарію прогнозу обсягів вироблених підприємством узагальнених видів продукції на обидва сезони і місяці цих сезонів. Крім того, при аналізі виробничої програми ДП «Артемсіль» визначена двоїстість цього завдання планування. Перше завдання – визначити обсяги продукції, виробленої підприємством на період (сезон, місяць). Друге завдання – визначити на ці ж періоди валові обсяги продукції, як завдання для кожного переробного комплексу.

При вирішенні другого завдання необхідно враховувати витратний механізм виробництва на кожному переробному комплексі, так як вони містять різні типи обладнання, що характеризуються відмінностями в технологічній собівартості продукції. При вирішенні цього завдання менеджери планово-виробничої служби ДП «Артемсіль» керуються плануванням виробничої програми з найменшим витратним механізмом.

Двоїстість завдання планування вимагає відповідних їй постановок задач стратегічного (на сезон) і тактичного (на місяць сезону) планування та їх формалізації у вигляді критеріїв. Переробні комплекси отримують від планово-виробничої служби виробничі завдання на місяць у вигляді обсягів узагальнених видів продукції. Враховуючи ці завдання, служби підрозділів розробляють свою програму, в якій визначаються види та обсяги випуску розширеного асортименту готової продукції, в сукупності підлеглих плановому завданню ДП за узагальненими видами. Це визначає постановку задачі моделювання як інструментарію прогнозу виробничої програми для

кожного підрозділу за всіма видами асортименту. Слід врахувати, що менеджери нижнього рівня мають право змінювати частку кожного виду продукції в обсязі узагальненого вигляду.

Таким чином, двоїстість задачі планування діяльності ДП і його підрозділів дозволяє задавати виробничі завдання на фіксований період (сезон, місяць), тому для прогнозу можуть бути використані статичні моделі.

Поточна діяльність переробних комплексів супроводжується протягом планового періоду (місяця) зовнішніми і внутрішніми збуреннями, що призводить до порушення ритму виконання планових завдань. Облік цих збурень здійснюється у визначенні завдань на наступну добу місяця. Це визначає необхідність створення інструментарію прогнозу нестационарних процесів переробки продукції, а також постановки та формалізації задач оперативного управління кожним переробним комплексом, при адаптивному налаштуванні параметрів моделі в ритмі з виробничим процесом.

Логіко-формальні моделі взаємозв'язків показників діяльності. На основі аналізу кількісних характеристик підприємства та його структури управління, розроблені [1] логіко-формальні моделі, які включають в себе модель взаємозв'язків рівнів управління підприємства, модель технологічних взаємозв'язків обсягів узагальнених і розширених видів продукції, модель взаємозв'язків обсягів розширених видів продукції і модель взаємозв'язків виробничих витрат. Ці моделі дозволяють виявити функціональні взаємозв'язки між показниками техніко-економічної діяльності підприємства, і визначити структуру розділів БД, призначеної для зберігання та обробки інформації. Моделі побудовані на підставі аналізу функціональних взаємозв'язків між рівнями структури управління і менеджерами, аналізу взаємозв'язку обсягів узагальнених видів продукції і розширеного асортименту, аналізу взаємозв'язків між потоками переробки продукції. Логіко-формальні зв'язки між потоками продукції визначили вид рівнянь моделей прогнозу. Також визначено логіко-формальні зв'язки між завданнями верхнього і нижнього рівня.

Математичні моделі прогнозу показників діяльності. На основі аналізу характеристик ОУ, класифікації показників діяльності і попередніх постановок завдань планування та управління та вибору математичного апарату, виконується друга постановка задачі моделювання – розробити математичні моделі, що дозволяють здійснювати прогноз діяльності підприємства на сезон.

Розроблено інструментарій прогнозу стратегічного (на сезон) і тактичного (на місяць) планування у вигляді статичних статистичних моделей [3], за допомогою яких можна прогнозувати виробничі (обсяги випуску) та економічні аспекти (витратний механізм, [2]) діяльності підприємства. Цей інструментарій призначений для менеджерів верхнього і нижнього рівнів, що

займаються планування діяльності підприємства та підрозділів. Для розробки моделей прогнозу використані методи прикладного регресійного аналізу.

Для завдання стратегічного планування діяльності розроблені моделі сезонного прогнозу обсягу випуску узагальнених видів продукції в цілому по підприємству і по кожному переробному комплексу. Модель складається з 37 регресійних поліномів. Рівняння прогнозу обсягів випуску узагальнених видів продукції ДП «Артемсіль» на весняно-літній сезон:

$$G_B^1 = 459.2 + 1.24G^1(A_1) + 0.27G^1(A_2) + 11.4G^1(A_3) + 2.13G^1(A_4) + 0.93G^1(A_5) + 1.09G^1(A_6) + 0.37G^1(A_7) + 0.73G^1(A_8) + 3.44G^1(A_9), \quad (3)$$

де $G^1(A_j)$ – обсяги випуску узагальненого виду продукції A_j у весняно-літній сезон.

Рівняння прогнозу обсягів випуску продукції підрозділами підприємства на весняно-літній сезон:

$$G_B^1 = 89.7 + 1.06G_1^1(S_1) + 0.91G_2^1(S_2) + 0.79G_3^1(S_3) + 1.11G_4^1(S_4), \quad (4)$$

де $G_i^1(S_i)$ – валовий випуск продукції i -м переробним комплексом за сезон.

Для інших підприємств подібного класу математичний апарат стратегічного прогнозу буде відрізнятися в першу чергу статистичними даними конкретного підприємства, необхідними для визначення параметрів моделей. Визначається статистика період діяльності цього підприємства, по місяцях, закладаються в програму статистичного аналізу і отримуємо нові коефіцієнти рівнянь.

В режимі опитного навчання обирають конкретний період діяльності підприємства, визначається загальний обсяг випуск продукції і випуск продукції по підрозділах, тобто формується інформаційна матриця вхідних даних. Потім за допомогою рекурентної процедури, заснованої на методі найменших квадратів, підбираються коефіцієнти рівнянь моделі прогнозу таким чином, щоб середньоквадратичне відхилення модельних значень не сильно відрізнялося від фактичних. Іншими словами, система в режимі навчання коригує параметри моделей.

Дані за радянський період діяльності підприємства не розглядалися. За малої вибірці (дані про продажі за 20 років) були прораховані середні значення і дисперсія та згенерована вибірка з 100 значень. Саме з цієї вибіркою будувалися регресійні поліноми. Похибка при такому підході не перевищує 3 цифри після коми.

Також розроблена модель тактичного прогнозу діяльності підприємства на місяць кожного сезону, що враховує випуск продукції по підрозділах, за узагальненими видами продукції і за обсягами продукції кожного виду.

Всього модель тактичного прогнозу показників місячної діяльності підприємства представлена 22 регресійний поліномами.

Наприклад, рівняння прогнозу випуску узагальнених видів продукції ДП «Артемсіль» на місяць весняно-літнього сезону виглядає таким чином:

$$G_{\text{ВМ}}^1 = 9.56 + 1.13G_{\text{М}}^1(A_1) + 0.69G_{\text{М}}^1(A_2) + 4.3G_{\text{М}}^1(A_3) + 3.5G_{\text{М}}^1(A_4) + 2.8G_{\text{М}}^1(A_5) + 0.78G_{\text{М}}^1(A_6) + 0.73G_{\text{М}}^1(A_7) + 1.55G_{\text{М}}^1(A_8) + 4.32G_{\text{М}}^1(A_9), \quad (5)$$

де $G_{\text{М}}^1(A_j)$ – обсяги випуску узагальненого виду продукції A_j у сезон.

Прогноз обсягів валового випуску продукції підрозділами підприємства на місяць весняно-літнього сезону:

$$PG_{\text{ВМ}}^1 = 1.96 + 1.15G_{\text{М}}^1(S_1) + 0.85G_{\text{М}}^1(S_2) + 0.88G_{\text{М}}^1(S_3) + 1.92G_{\text{М}}^1(S_4), \quad (6)$$

де $G_{\text{М}}^1(S_i)$ – валовий обсяг випуску продукції i -м комплексом за місяць.

При побудові моделі тактичного прогнозу були взяті дані про помісячні продажах за 20 років, тобто значення обсягів випуску готової продукції за 240 місяців. Для перевірки адекватності статичних статистичних моделей проведено чисельне дослідження прогнозованих значень за незалежною вибіркою спостережень і порівняння результатів прогнозу з фактичними даними. Адекватність регресійних поліномів статичної моделі прогнозу визначалася за середньоквадратичного відхилення «прогноз-факт», з незалежної вибірки за період 2014 року. Відхилення при цьому не перевищило 5%.

Аналіз фактичних статистичних даних показав, що для прогнозу показників діяльності підприємства за сезон і місяць сезону необхідно реалізовувати налаштування параметрів моделі, тобто здійснювати адаптивну процедуру ідентифікації за даними минулих періодів. Математичні моделі прогнозу випуску продукції підрозділів також повинні налаштовуватися за даними попередніх періодів.

Математична модель оперативного прогнозу показників діяльності.

Для визначення оперативних прогнозів на будь-який інтервал планового періоду розроблена динамічна детермінована модель [4], рівняння якої відображають характер технологічних рішень кожного рудника. Так як загальний потік солі, видобутої на руднику, декомпозиється на види асортименту, динамічна модель прогнозу представлена сукупністю параметричних нелінійних диференціальних рівнянь, що враховують взаємозв'язки видів асортименту. Модель базується на авторській гіпотезі про механізм процесів, що протікають при перетворенні рудничної солі.

Наприклад, рівняння прогнозу перетворення потоку солі, видобутої на руднику, виглядає таким чином:

$$\frac{dG_p}{dt} = g_p - \beta_1 \cdot F_{1гр} \cdot \rho_{1гр} \left([A_{кр.к}] + [A_{зерн}] \right), \quad (7)$$

де g_p – інтенсивність подачі рудничної солі на 1-й грохот,
 β_1 – параметр, швидкість класифікації солі на 1-му грохоті,
 $F_{1гр}$ – щільнна поверхня 1-го грохоту,
 $[A_{кр.к}]$ – доля крупнокускової солі,
 $[A_{зерн}]$ – доля зернової солі,
 $\rho_{1гр}$ – щільність рудничної солі.

Всього динамічна модель оперативного прогнозу містить 87 нелінійних диференціальних рівнянь з двадцятьма параметрами. Для підстроювання параметрів моделі, що передбачає заданий рівень точності прогнозу, використовується метод параметричної ідентифікації, заснований на методі чутливості і методі двох моделей. Модель може використовуватися для будь-якого представника класу об'єктів з багаторівневою структурою управління і сезонним характером процесу формування портфеля замовлень. У режимі навчання формуються початкові значення параметрів моделі. А для робочої системи ідентифікатори в контурі управління дозволяють підлаштовувати статичні моделі в кінці планового періоду, а також підстроювати динамічні моделі, з урахуванням неконтрольованого зміни показників, з метою одержання підтримки заданої точності прогнозу. Чисельне дослідження прогнозу показало, що середньоквадратичне відхилення не перевищує 4%, тобто динамічна модель адекватна процесу.

Фізична та формальна постановка цілей управління. Як показав аналіз характеристик ОУ, інформаційна технологія, що призначена для прийняття рішень і автоматичної обробки техніко-економічних показників, повинна передбачати формування цілей управління.

Ухвалення управлінських рішень повинно проходити за умови неантагоністичної співпідпорядкованості рішень II рівня рішенням I рівня. Всього розроблені 4 функціоналів цілі стратегічного і 4 функціоналів цілі тактичного планування, 1 функціонал цілі оперативного управління.

Фізична постановка задачі стратегічного планування обсягів випуску продукції підприємством – визначити такі обсяги продукції, що випускається підприємством за поточний сезон, які дозволять підприємству отримати найбільший дохід при затверджених цінах на продукцію. Формальна постановка цієї задачі на весняно-літній сезон:

$$I_1^1 = 0.27\Pi^1(A_1) \cdot g^1(A_1) + 0.1\Pi^1(A_2) \cdot g^1(A_2) + 0.0022\Pi^1(A_3) \cdot g^1(A_3) + \\ + 0.005\Pi^1(A_4) \cdot g^1(A_4) + 0.167\Pi^1(A_5) \cdot g^1(A_5) + 0.376\Pi^1(A_6) \cdot g^1(A_6) + \\ + 0.07\Pi^1(A_7) \cdot g^1(A_7) + 0.11\Pi^1(A_8) \cdot g^1(A_8) + 0.0008\Pi^1(A_9) \cdot g^1(A_9) \rightarrow \max_{g^1(A_j) \cdot \Pi^1(A_j)} \quad (8)$$

де $\Pi^1(A_j)$ – ціна на узагальнений вид продукції у весняно-літній сезон,

$g^1(A_j)$ – валовий випуск продукції валовий випуск продукції A_j у весняно-літній сезон у весняно-літній сезон.

Фізична постановка задачі стратегічного планування валових обсягів випуску продукції підрозділами підприємства - визначити обсяги виробничих завдань переробних комплексів таким чином, щоб сумарний витратний механізм виробництва підприємства на сезон був мінімальним. Формальна постановка цієї задачі на весняно-літній сезон:

$$I_2^1 = 32.56Z_1^1 G_B^1(S_1) + 36.99Z_2^1 G_B^1(S_2) + 33.92Z_3^1 G_B^1(S_3) + 31.77Z_4^1 G_B^1(S_4) - \\ - 0.01Z_1^1 G_B^1(S_1) \cdot Z_3^1 G_B^1(S_3) - 0.01Z_2^1 G_B^1(S_2) \cdot Z_4^1 G_B^1(S_4) - 379863 \rightarrow \min_{Z_i^1 \cdot G_B^1(S_i)} \quad (9)$$

де $G_B^1(S_i)$ – валовий випуск продукції i -м комплексом в сезон,

Z_i^1 – витрати i -го комплексу на валовий випуск продукції за сезон.

Фізична постановка задачі тактичного планування обсягів випуску продукції підприємством – визначити такі обсяги узагальнених видів продукції, що випускається підприємством за місяць сезону, які дозволять отримувати найбільший дохід при затверджених цінах на продукцію. Формальна постановка задачі на місяць весняно-літнього сезону:

$$I_3^1 = b_{1M}\Pi^1(A_1) \cdot g_M^1(A_1) + b_{2M}\Pi^1(A_2) \cdot g_M^1(A_2) + b_{3M}\Pi^1(A_3) \cdot g_M^1(A_3) + \\ + b_{4M}\Pi^1(A_4) \cdot g_M^1(A_4) + b_{5M}\Pi^1(A_5) \cdot g_M^1(A_5) + b_{6M}\Pi^1(A_6) \cdot g_M^1(A_6) + \\ + b_{7M}\Pi^1(A_7) \cdot g_M^1(A_7) + b_{8M}\Pi^1(A_8) \cdot g_M^1(A_8) + \\ + b_{9M}\Pi^1(A_9) \cdot g_M^1(A_9) + b_{0M} \rightarrow \max_{\Pi^1(A_j) \cdot g_M^1(A_j)} \quad (10)$$

де $g_M^1(A_j)$ – валовий випуск продукції за місяць весняно-літнього сезону,

b_{iM} – коефіцієнти функціонала мети.

Фізична постановка задачі тактичного планування валових обсягів випуску продукції підрозділами підприємства – визначити обсяги виробничих завдань переробних комплексів на місяць сезону таким чином, щоб витратний механізм виробництва ДП «Артемсіль» був мінімальним. Формальна постановка задачі планування на місяць весняно-літнього сезону:

$$I_4^1 = 130.95Z_{1M}^1 G_M^1(S_1) + 139.65Z_{2M}^1 G_M^1(S_2) + 134.66Z_{3M}^1 G_M^1(S_3) + \\ + 131.1Z_{4M}^1 G_M^1(S_4) - 0.003Z_{1M}^1 G_M^1(S_1) \cdot Z_{4M}^1 G_M^1(S_4) - \\ - 0.001199Z_{2M}^1 G_M^1(S_2) \cdot Z_{3M}^1 G_M^1(S_3) + 11380 \rightarrow \min_{Z_{iM}^1 \cdot G_M^1(S_i)}, \quad (11)$$

де $G_M^1(S_i)$ – валовий випуск продукції i -м комплексом за місяць сезону,

Z_{iM}^1 – витрати i -го комплексу на валовий випуск продукції за місяць весняно-літнього сезону.

Фізична постановка задачі оперативного управління – визначити виробничу програму подальших календарних періодів (днів) з урахуванням неув'язки «план-факт» таким чином, щоб забезпечити максимальний випуск продукції. Формальна постановка задачі оперативного управління:

$$I_5 = \lambda_1 g_{\text{сф}}(A_1) + \lambda_2 g_{\text{сф}}(A_2) + \lambda_3 g_{\text{сф}}(A_3) + \lambda_4 g_{\text{сф}}(A_4) + \lambda_5 g_{\text{сф}}(A_5) + \\ + \lambda_6 g_{\text{сф}}(A_6) + \lambda_7 g_{\text{сф}}(A_7) + \lambda_8 g_{\text{сф}}(A_8) + \lambda_9 g_{\text{сф}}(A_9) \rightarrow \max_{g_{\text{сф}}(A_j)}, \quad (12)$$

де $\forall j: g_{\text{сф}}(A_j) = g_{\text{с}}(A_j) + |\Delta g_{\text{ф}}|(A_j)$, $g_{\text{с}}(A_j)$ – планові завдання на сутки,

$|\Delta g_{\text{ф}}|(A_j)$ – неув'язка «план-факт»,

λ_j – доля добового обсягу продукції A_j , що визначається планово-виробничою службою підрозділу.

Чисельне рішення функціоналів мети виконується методами оптимізації, зокрема пошуком екстремальних значень. Пошук екстремальних значень функціоналів критерію мети вирішуються за допомогою сучасного генетичного алгоритму. Значення коефіцієнтів функціоналів цілі визначаються в режимі опитного навчання. В процесі експлуатації СППР наприкінці кожного місяця необхідно виконувати налаштування параметрів моделей і коефіцієнтів функціоналів. Для цієї мети призначена рекурентна процедура, що заснована на методі найменших квадратів.

Алгоритм функціонування інформаційної технології. Портфель замовлень формується у відділі маркетингу і містить заявки по розширеному асортименту готової продукції на поточний рік. Наприкінці планового періоду відділ маркетингу групує позиції в узагальнені види та передає портфель (сезонну заявку) у плановий відділ підприємства. Менеджер планового відділу (верхній рівень управління) виділяє з сезонною заявкою позиції довготривалих договорів, ще не оплачених. Завданням менеджера є визначення сезонних планових завдань підрозділам підприємства по валовому випуску готової продукції.

Менеджер верхнього рівня бере згруповані позиції і підставляє в рівняння моделі стратегічного прогнозу показників діяльності (3–4). Коефіцієнти в рівняннях моделі враховують ймовірні коливання за попередній період, тобто параметри моделі враховують передісторію. Модель дозволяє оцінити з ймовірнісної характеристикою, до якого результату прийде рішення. На виході модель прогнозу дає значення валового випуску по кожному узагальненому виду продукції. Далі ті ж вхідні дані підставляються в функціонал цілі (8) і визначаються оптимальні значення валового випуску по кожному узагальненому виду продукції, вже підлеглі завданню отримання максимального доходу. Ці значення знову підставляються в модель стратегічного прогнозу (3–4). Потім порівнюються рішення, отримані за моделлю виходячи з портфеля замовлень, і отримані по функціоналу цілі. У функціоналі є граничні обмеження, щоб рішення були не нижче портфеля замовлень за обсягами випуску узагальнених видів продукції. Менеджер сам вирішує, які значення йому взяти, тобто скільки дати завдань з випуску узагальнених видів продукції переробним комплексам, виходячи з витратного механізму підрозділів. Стратегічна модель прогнозує ймовірні значення показників, а функціонал цілі надає найкраще рішення. Якщо ці найкращі рішення не задовольняють прогнозам по моделі, то змінюються вихідні дані в рівняннях моделі і процес підбору значень триває. Іншими словами, менеджер верхнього рівня отримує інструментарій автоматизованого складання найкращого варіанту плану шляхом багаторазового зміни вихідних даних у моделі і функціоналі.

Якщо прогноз на нижньому рівні вступає в протиріччя з плановим завданням, отриманим з верхнього рівня, менеджер нижнього рівня (до початку планового періоду) повертає планове завдання на переробку.

У обмеження функціонала (9) підставляється загальний обсяг сезонних замовлень з портфеля замовлень. Потім функціонал вирішується генетичним алгоритмом і менеджер отримує оптимальні значення – валові обсяги випуску продукції рудниками, підпорядковані завданню мінімізації витратного механізму. Ці значення підставляються в обмеження функціонала (8) та за допомогою генетичного алгоритму він вирішується, визначаючи оптимальні значення за валовими обсягами випуску узагальнених видів продукції в цілому по підприємству, підлеглі завданню отримання максимального доходу.

Далі слід оцінити ефективність цих рішень за допомогою моделі стратегічного прогнозу. Валові обсяги по рудникам і узагальненим видами продукції є вихідними даними для рівнянь моделі прогнозу. На виході модель дає передбачувані значення сезонних валових випусків по рудникам і за узагальненими видами продукції. Менеджер при цьому може не звертатися до функціонала. Він має право підставити в модель значення валових обсягів узагальнених видів з сезонною заявкою. Або в модель прогнозу менеджер самостійно підставляє значення, виходячи зі свого експертного досвіду.

Потім порівнюються рішення, отримані за моделлю, виходячи з портфеля замовлень, і отримані по моделі, виходячи з рекомендованих функціоналом значень. Рішення повинні бути не гірше сезонної заявки (за обсягами випуску узагальнених видів продукції). Менеджер виконує експертне оцінювання, тобто вирішує, які значення йому взяти, як сформулювати планові сезонні завдання кожному переробному комплексу. Якщо ці рішення не задовольняють заявці, то змінюються вихідні дані в рівняннях моделі та обмеження в функціоналом і процес підбору значень триває.

На початку нового місяцю планового сезону менеджер відділу маркетингу визначає потрібний обсяг продукції за оплаченими позиціями портфелю замовлень і передає планову місячну заявку менеджеру верхнього рівня. Менеджер підставляє значення планової заявки в обмеження функціоналу (11). Отримані рішення функціоналу (валові обсяги випуску продукції підрозділами на місяць) підставляються в обмеження функціоналу (10), і вирішується, визначаючи оптимальні значення за валовими обсягами випуску узагальнених видів продукції в цілому по підприємству на місяць сезону.

Далі оцінюється ефективність цих рішень за допомогою статичної моделі тактичного прогнозу. На виході модель дає передбачувані значення місячних валових випусків підрозділів і за узагальненими видами продукції в цілому по підприємству. Якщо рішення не гірше планової заявки, то вони формують виробничі завдання кожному підрозділу з випуску узагальнених видів продукції на місяць сезону.

Менеджер нижнього рівня повинен провести декомпозицію отриманого місячного планового завдання на види розширеного асортименту. Отримання завдань з випуску розширеного асортименту на місяць і добу проводиться за допомогою рівнянь динамічної моделі (7). Валові обсяги випуску узагальнених видів продукції є кінцевими умовами задачі Коші. Менеджер звертається до динамічної моделі прогнозу, задає початкові умова (добові інтенсивності випуску) для кожної позиції, що входить в узагальнений вигляд і методом Рунге-Кутта вирішує рівняння, з кроком інтегрування 10 хвилин. Запускається лічильник і визначається, за яку кількість періодів може бути виконаний випуск потрібного обсягу продукції розширеного виду. Початкові умови задаються, виходячи з експертного досвіду менеджера нижнього рівня.

Функціонал цілі (12) може застосовуватися як при оперативному управлінні, так і при тактичному плануванні. Змінюються тільки долі добового обсягу продукції, захоплюючи інтервал часу більше, ніж добу.

Якщо прогноз на нижньому рівні вступає в протиріччя з плановим завданням, отриманим з верхнього рівня, менеджер нижнього рівня (до початку планового періоду) повертає планове завдання на верхній рівень для переробки.

Висновки. У роботі вирішена актуальна задача розробки інструментарію стратегічного і тактичного планування та оперативного управління діяльністю дворівневого переробного підприємства з сезонним характером формування портфелю заказів. Розроблені логіко-формальні та математичні моделі прогнозу, функціонали мети, чисельні процедури пошуку оптимальних рішень, становлять основу математичного забезпечення інформаційної технології дворівневої СППР. Головним результатом дослідження є розробка методу побудови інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє менеджерам обох рівнів підприємства оцінювати прогноз майбутньої виробничої програми та приймати ефективні рішення з планування та управління діяльністю підприємства в умовах кон'юнктурних коливань портфелю замовлень.

Список літератури: 1. *Криводубский О. А.* Логико-формальная модель взаимосвязей ассортимента продукции, выпускаемой ГПО «Артемсоль» / *О. А. Криводубский, П. А. Чукунов, А. О. Новаковская* // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010 – №4 (45). – С. 205–210. 2. *Криводубский О. А.* Математическая модель прогноза затрат на производство соли / *О. А. Криводубский, П. А. Чукунов* // Системи обробки інформації. – 2012. – №7 (105). – С. 257–262. 3. *Чукунов П. А.* Математическая модель стратегического и тактического планирования производства соли / *П. А. Чукунов* // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – 2013. – №1 (34). – С. 131–135. 4. *Чукунов П. А.* Динамические модели оперативного прогноза ассортимента продукции рудников ГП «Артемсоль» / *П. А. Чукунов* // Комп'ютерно-інтегровані технології в освіті, науці, виробництві. – 2013. – №11 – С. 248–254. 5. *Чукунов П. А.* Физическая и формальная постановка задач оперативного управления соледобывающим предприятием / *П. А. Чукунов* // International scientific journal “Science and education a new dimension”. – 2013. – №1 (2). – С. 142–146. 6. *Чукунов П. А.* Разработка обобщенной структуры системы поддержки принятия решений по управлению соледобывающим предприятием / *П. А. Чукунов* // International Scientific Journal “Theoretical & Applied Science”. – 2013. – №6 (10). – С. 29–36.

Bibliography (transliterated): 1. Krivodubskiy, O. A., P. A. Chikunov and A. O. Novakovskaya "Logiko-formalnaya model vzaimosvyazey assortimenta produktsii, vyipuskaemoy GPO Artemsol." *Radioelektronni i komp'yuterni sistemi*. 2010. No. 4 (45). 205–210. Print. 2. Krivodubskiy, O. A., and P. A. Chikunov. "Matematicheskaya model prognoza zatrat na proizvodstvo soli." *Sistemi obrobki Informatsiyi*. 2012. No. 7 (105). 257–262. Print. 3. Chikunov, P. A. "Matematicheskaya model strategicheskogo i takticheskogo planirovaniya proizvodstva soli." *Zb. nauk. pr. Harkivskogo universitetu povitryanih sil*. 2013. No. 1 (34). 131–135. Print. 4. Chikunov, P. A. "Dinamicheskie modeli operativnogo prognoza assortimenta produktsii rudnikov GP Artemsol." *Komp'yuterno-integrovani tehnologiyi v osviti, nauksi, virobnitstvi*. 2013. No. 11 248–254. Print. 5. Chikunov, P. A. "Fizicheskaya i formalnaya postanovka zadach operativnogo upravleniya soledobivayuschim predpriyatiem." *Science and education a new dimension*. 2013. No. 1 (2). 142–146. Print. 6. Chikunov, P. A. "Razrabotka obobschennoy strukturyi sistemyi podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu soledobivayuschim predpriyatiem." *Theoretical & Applied Science*. 2013. No. 6 (10). 29–36. Print.

Надійшла (received) 03.12.2014

С. О. КОСИЛОВ, асп. ДонНТУ, Донецьк

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ТА АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПЛАНУВАННІ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ ЛИСТОПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розробляється система підтримки прийняття рішень при розв'язанні задачі оптимального планування для класу технологічних об'єктів конвеєрного типу з технологічною паузою перед обробкою на агрегатах і обмеженнями по часу виконання замовлень. На прикладі листопрокатного виробництва представлено результат такої розробки у вигляді структури та алгоритму роботи системи оптимального планування виконання замовлень. Пропонується метод урахування обмежень по часу при розв'язанні задачі оптимального планування.

Ключові слова: оптимальне планування, математичні моделі, система підтримки прийняття рішень, критерій оптимізації, функціонал, час записнення, алгоритм.

Вступ. Використання методів інформаційних технологій при розв'язуванні задач планування виробництва є одним з сучасних засобів підвищення ефективності виробництва. Але багатофакторність технологічних процесів, особливість підприємств та велика кількість технологічних обмежень обумовлюють відсутність універсального способу розв'язання таких задач. Метою дослідження є розробка методів, моделей і алгоритмів прийняття рішень при планування виконання замовлень, які можливо застосовувати для класу підприємств, де виробництво організовано у вигляді конвеєрної системи з технологічними паузами перед обробкою матеріалів і обмеженнями по часу випуску.

Аналіз основних досягнень і літератури. Технологічні основи листопрокатного виробництва, технологічні обмеження, задіяні на усіх листопрокатних підприємствах та принципи їх функціонування досліджені у [1], [2]. Для ряду підприємств при створенні автоматизованих систем управління було запропоновано алгоритми розв'язання окремих задач планування, які представлено у [3] – [6]; алгоритму універсального розв'язку задач для таких систем з обмеженнями по часу виконання замовлень не існує. Проблеми задач планування, що вирішуються за допомогою математичного апарату оптимізації та інструментів оперативного аналізу даних (OLAP), викладено у [7], [8], але для досліджуваного у роботі класу об'єктів не існує готового інструментарію розв'язання задач планування.

Мета дослідження, постановка задачі. За допомогою методів інформаційних технологій і з урахуванням зробленої у роботі [9] формалізації задачі планування виконання замовлень на листопрокатному виробництві, а також запропонованих у [10] алгоритмів її розв'язання, розробити структуру

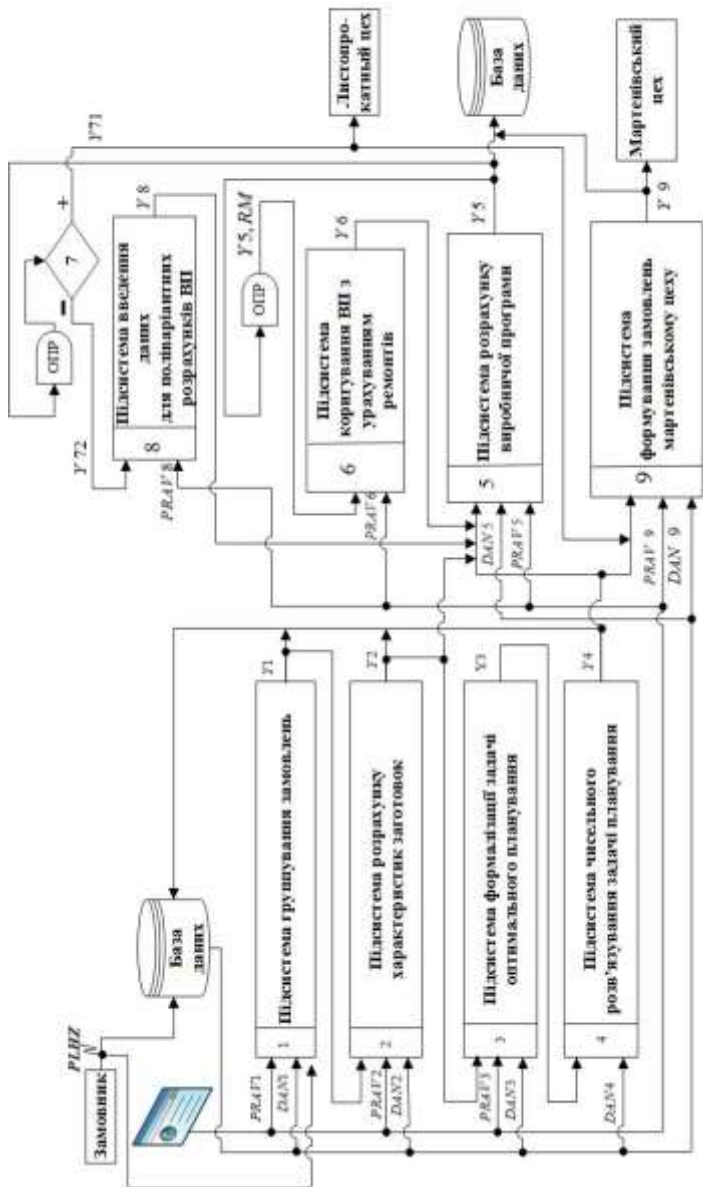
системи планування виробничої програми листопрокатного виробництва. З метою урахування обмежень по часу виконання замовлень, відкоригувати попередньо розроблений у [10] алгоритм та цільовий функціонал задачі оптимального планування.

Матеріали досліджень. В ході попередньої формалізації та розробки алгоритму розв'язання задачі планування виконання замовлень листопрокатного виробництва, результати якого приведено у [10], було запропоновано метод багатоетапної декомпозиції задачі, за допомогою якого структура розв'язання була представлена у вигляді чотирьох етапів. Декомпозиція дозволила розробити систему планування виробничої програми виконання замовлень у вигляді автоматизованого робочого місця (АРМ), користувачем якого будуть керівники виробничого та планово-економічного відділів заводууправління. Створене програмне забезпечення для роботи системи дає можливість користувачу АРМ вводити характеристики замовлень на листовий прокат і отримувати як виробничу програму роботи листопрокатного цеху, що забезпечує виконання замовлень за мінімальний час, так і характеристики замовлення мартенівському цеху на виробництво заготовок для прокату. Система планування також передбачає можливість отримання користувачем поліваріантних розрахунків виробничої програми для оцінки наслідків реалізації кожного з варіантів. Вироблена системою планування виробнича програма направляє користувачем у листопрокатний цех для виконання.

Основні етапи функціонування системи планування виконання замовлень для листопрокатного виробництва, реалізованої у вигляді АРМ планово-виробничих служб, проілюстровано на рис.1 у вигляді функціональної схеми пов'язаних підсистем (блоків). Обмін інформацією між блоками представлено як передача значень вхідних і вихідних змінних Y безпосередньо між підсистемами блоків або із використанням бази даних системи у якості тимчасового сховища даних DAN . Розрахунок значень змінних у блоках виконується за допомогою правил $PRAV$, які зберігаються у базі знань і використовуються підсистемами згідно алгоритму роботи системи.

Далі наведено стислий опис алгоритму роботи системи.

Формування бази даних та бази знань системи. У відділ збуту готової продукції поступають замовлення на листовий прокат, у яких замовник зазначає типорозміри прокатних листів, масу та час виконання замовлення. Користувач АРМ вносить їх у базу даних у вигляді наборів змінних $PLHZ$. Крім того, до бази даних заносяться технологічні нормативи даного підприємства у вигляді наборів змінних DAN , що включають в себе значення припуску на торцевий обріз, кількість прокатних листів у одному кратному слябі, продуктивність прокатки на клітях та ін. База знань формується з правил $PRAV$ перетворень вхідних змінних у вихідні для кожної підсистеми, які формалізовано у [10].



ВП- виробнича програма роботи листпрокатного цеху по виконанню замовлень

Рис. 1 – Функціональна схема системи планування виконання замовлень на листопрокатному виробництві

Алгоритм роботи системи оптимального планування передбачає виконання певних функцій кожною підсистемою.

1. Підсистема групування замовлень (блок 1, рис.1). Для визначення маси замовлень однакових типорозмірів реалізується об'єднання замовлень у групи на основі правил *PRAV1* бази знань. Кожна група (далі – позиція портфеля замовлень) включає в себе усі замовлення з однаковими типорозмірами, які передаються до бази даних як вихідні змінні *Y1* підсистеми і використовуються для подальших розрахунків.

2. Підсистема розрахунку характеристик заготовок (блок 2, рис.1). Для кожної з позицій портфеля замовлень на основі правил *PRAV2* перетворення листа у сляб визначаються типорозміри групи необхідних заготовок (мірних та кратних слябів), маси мірних та кратних слябів кожної групи. Результати разом з технологічними нормативами (припустимим часом нагріву в печах, тривалістю прокатки слябів групи та ін.) передаються як вихідні змінні *Y2* до підсистеми формалізації задачі оптимального планування та до бази даних системи.

3. Підсистема формалізації задачі оптимального планування (блок 3, рис.1). Для визначення порядку задання у прокат сформованих груп заготовок (кратних слябів) з урахуванням технологічних обмежень виробництва необхідно визначити масу і типорозмір партій, на які розбиваються групи кратних слябів та послідовність направлення партій у виробництва. Послідовність направлення задається об'єднанням партій у набори для прокатки партій кожного набору у окремій кампанії валків прокатних клітей та упорядкуванням партій у наборах. У попередньому дослідженні [10] представлена формальна постановка задачі оптимального планування, яку в даній роботі доповнено обмеженням на час виконання кожного замовлення, в результаті чого отримано наступну формальну постановку задачі:

Визначити оптимальну кількість *PRAV2* наборів (кампаній валків) партій кратних слябів, необхідних для прокатки портфеля замовлень та масу кожної партії $m_{l,n}$, де $l = \overline{1, Nl}$ – порядковий номер кампанії валків протягом планового періоду, $n = \overline{1, Nn}$ – номер типорозміру замовленого листа, що отримують при прокатці партії масою $m_{l,n}$, які мінімізують функціонал J , наведений у (1) та задовольняють обмеженням (2):

$$J = \sum_{l=1}^M (40 + \sum_{n=1}^{Nn} (m_{l,n} / PPR_n + TP_n(x_{l,n}) \times kf(m_{l,n})) + TVZ)$$

$$J1 = J1(M) \rightarrow \min_M, \quad M = \left\| m_{l,n} \right\|, \quad l = \overline{1, Nl}, \quad n = \overline{1, Nn}, \quad (1)$$

де PPR_n – продуктивність прокатки позиції портфелю замовлень на клітях;

$TP_n(x_{l,n})$ – поліноми, що задають тривалість технологічної паузи перед обробкою на клітках партії масою $m_{l,n}$, $x_{l,n}$ – змінна стану системи перед обробкою цієї партії, формування поліномів детально представлено у [10];

$kf(m_{l,n})$ – коефіцієнт присутності партії n -го типорозміру у l -ї кампанії валків;

TVZ – штрафна функція, мінімізація якої під час вирішення задачі планування, забезпечує реалізацію обмеження по часу виконання замовлень.

Обмеження на маси партій кратних слябів, які обумовлені технологічними особливостями виробництва, визначаються згідно (2):

$$P123(m_{l,n}) : \begin{cases} m_{l,n} \times (m_{l,n} - MIN_n) \geq 0 \\ m_{l,n} \times (m_{l,n} - MAX_n) \leq 0, l = \overline{1, Nl}, n = \overline{1, Nn}, \\ m_{l,n} \geq 0 \end{cases}$$

$$P_4(m_{l,n}) : \sum_{n=1}^{Nn} m_{l,n} \leq 1\,800\,000, l = \overline{1, Nl}, P_5(m_{l,n}) : \sum_{l=1}^{Nl} m_{l,n} = MKG_n, n = \overline{1, Nn},$$

$$m_{l,n} = h \times MS_n, h = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

де MIN_n, MAX_n – мінімально та максимально допустима маса партії n -го типорозміру (технологічний норматив);

MS_n, MKG_n – маса одного та усіх кратних слябів, які використовують для прокатки усіх замовлень n -ї позиції портфелю.

Для формалізації обмеження на час виконання замовлень (розрахований при вирішенні задачі планування час $TK_{l,n}$ закінчення прокатки кожної партії має забезпечувати виконання кожного замовлення до часу, вказаного замовником) методом штрафних функцій, формуються наступні об'єкти:

а) вектори змінних $MZV(n) = \|mvz(n)_i\|, n = \overline{1, Nn}, i = \overline{1, Ni_n}$, де n – номер типорозміру у портфелі замовлень, i – номер замовлення n -го типорозміру, $mvz(n)_i$ визначає суму мас $MAS_{n,i1}$ тих замовлень n -го типорозміру, для яких указаний замовником час виконання $TV_{n,i1}$ не більше часу $TV_{n,i}$ виконання i -го замовлення:

$$mvz(n)_i = \sum_{i1} MAS_{n,i1}, i1, i : TV_{n,i1} \leq TV_{n,i}, \quad n = \overline{1, Nn}, \quad (3)$$

б) змінні $T_{l,n,i}$, кожна з яких приймає найменше значення -1 при такій сумарній масі $m_{l,n}$ усіх партій n -го типорозміру, що задаються у прокат на

протязі l кампаній валків, яка не більше, ніж розрахована згідно (3) маса $mvz(n)_i$:

$$T_{l,n,i} = \begin{cases} 1 \text{ при } mvz(n)_i > \sum_{l=1}^l m_{l,n} \\ -1 \text{ при } mvz(n)_i \leq \sum_{l=1}^l m_{l,n} \end{cases} = (mvz(n)_i - \sum_{l=1}^l m_{l,n}) / \left| mvz(n)_i - \sum_{l=1}^l m_{l,n} \right|, \\ l = \overline{1, Nl}, n = \overline{1, Nn}, i = \overline{1, Ni_n}, \quad (4)$$

б) змінні $T_{l,n,i}$, кожна з яких приймає найменше значення, якщо задовольняється обмеження на час виконання i -го замовлення n -го типорозміру:

$$T_{l,n,i} = \begin{cases} 1000 \times T_{l,n,i} \text{ при } TV_{n,i} \in [TK_{l,n}; TK_{l+1,n}] \\ 0 \text{ при } TV_{n,i} \notin [TK_{l,n}; TK_{l+1,n}] \end{cases}. \quad (5)$$

Тоді визначимо штрафну функцію TVZ , яка забезпечує виконання обмежень на час замовлення при мінімізації функціоналу (1), як суму усіх функцій $T_{l,n,i}$ згідно (6):

$$TVZ = \sum_{l=1}^{Nl} \sum_{n=1}^{Nn} \sum_{i=1}^{Ni_n} T_{l,n,i}. \quad (6)$$

Формалізована таким чином задача оптимального планування враховує технологічні обмеження та обмеження по часу виконання замовлень і передається як вихідна змінна $Y3$ до блоку чисельного розв'язання задачі.

4. Підсистема чисельного розв'язання задачі планування (блок 4, рис.1). При розв'язанні задачі планування здійснюється пошук глобального екстремуму на множині змінних, які приймають дискретні значення. Неможливість пошуку екстремуму градієнтними методами обумовлюється багатоекстремальністю цільового функціоналу, великою кількістю змінних і наявністю нелінійних обмежень. Тому пошук мінімуму виконується за допомогою генетичного алгоритму, що включає в себе метод штрафних функцій, засобами пакету «Матлаб-2012». Встановлюються опції алгоритму (задаються значення елітного номеру, кросоверної частки, розміру популяції, визначаються функція мутації і швидкість зміни середнього числа мутацій, критерій зупину алгоритму). Результати передаються до підсистем розрахунку виробничої програми та підсистеми формування замовлення мартенівському цеху як вихідна змінна $Y4$, що включає розраховані маси $m_{l,n}$ партій, послідовність їх направлення у прокат та типорозміри кратних слябів для кожної партії.

5. Підсистема розрахунку виробничої програми (блок 5, рис.1). На основі математичних моделей *PRAV5* прогнозу часу перетворення партій кратних слябів на технологічному обладнанні листопрокатного цеху формується виробнича програма *Y5* роботи листопрокатного цеху на плановий період, що містить в собі характеристики часу прокатки портфеля замовлень на окремих агрегатах та пристроях усього цеху. Розроблена виробнича програма направляє особі, що приймає рішення (ОПР), яка на основі її та технологічних норм проведення ремонтів прокатного стану визначає час проведення ремонтів у вигляді пар $RM_k = (RM1_k, RM2_k)$, $k = \overline{1, Nk}$, де $RM1_k$ – час початку ремонту стану, а $RM2_k$ – час завершення ремонту стану. Ці дані поступають до підсистеми коригування виробничої програми (блок 6, рис.1), де розраховують характеристики *Y6* програми прокатки та ремонтів прокатного стану.

6. Підсистема аналізу виробничої програми (блок 7, рис.1). Отримана виробнича програма вивчається ОПР, яка або приймає рішення *Y71* про направлення цієї програми до листопрокатного цеху для виконання, або змінює маси та типорозміри деяких партій і послідовність направлення їх у виробництво та передає інформацію *Y72* про таку зміну до підсистеми введення даних для поліваріантних розрахунків виробничої програми.

7. Підсистема введення даних для поліваріантних розрахунків виробничої програми (блок 8, рис.1). Для внесених ОПР типорозмірів та мас партій виконується перевірка технологічних обмежень і на підставі характеристик обчислюються значення змінних *Y8*, які необхідні для розрахунку виробничої програми. Змінні *Y8* направляються до блоку 5 в якості вхідних для розрахунку нової виробничої програми. Отримані поліваріантні розрахунки виробничої програми розглядаються користувачем, який аналізує їх, затверджує один з варіантів, і направляє його в листопрокатний цех для виконання.

8. Підсистема формування замовлень мартенівському цеху (блок 9, рис.1). На основі затвердженої ОПР виробничої програми розраховуються характеристики замовлення, до якого включаються маси і типорозміри мірних слябів кожної з партій, що задаються у виробництво для виконання замовлень і планований час поставки мартенівським цехом мірних слябів для кожної партії.

Висновки. Реалізоване на підставі вищеописаного алгоритму програмне забезпечення є інструментарієм прийняття рішень персоналом планово-виробничих служб при поліваріантності завданні виконання замовлень, представленим у вигляді АРМ планово-виробничих служб. Інструментарій дає керівництву підприємства можливість вибрати оптимальну стратегію виконання замовлень, що дозволить підвищити ефективність виробництва.

Список літератури: 1. Шаталов Р. Л. Автоматизация технологических процессов прокатки и термообработки металлов и сплавов / Р. Л. Шаталов, Т. А. Коїнов, Н. Н. Литвинова. – М. : ЗАО «Металлургиядат», 2010. – 368 с. 2. Коновалов Ю. В. Металлургия: учебное пособие в 3 кн. К. 2. Металловедение и основы термической обработки металлов. Теоретические основы обработки металлов давлением. Сортамент прокатной продукции. Производство заготовок, листопрокатное производство / Ю. В. Коновалов, А. А. Минаев. – Донецк : ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – С. 352–488. 3. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребе, М. Э. Сальгадо. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с. 4. Таха, Хэмди А. Введение в исследование операций / Хэмди А. Таха. – М. : Вильямс, 2007. – 912 с. 5. Колпаков С. С. Проблемы разработки интегрированных АСУ листопрокатным производством: научное издание для студентов и аспирантов / С. С. Колпаков, С. Б. Кузнецова, В. К. Потемкин. – М. : ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ, 1997. – 27 с. 6. Лодон Дж. Управление информационными системами / Дж. Лодон, К. Лодон – СПб. : Питер, 2005. – 912 с. 7. Макленне Дж. Microsoft SQL Server 2008: Data Mining – интеллектуальный анализ данных: Пер. с англ. / Дж. Макленнен, Чж. Танг, Б. Криват. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 720 с. 8. Десятков Д. Х. Эвристическая оптимизационная модель для NP-полных задач разбиений с ограничениями, возникающими при оперативном планировании листопрокатного производства / Д. Х. Десятков, С. И. Файнштейн, А. Б. Белявский, // Информационные технологии. – 2009. – № 9. – С. 16-20. 9. Криводубский О. А. Определение временных характеристик листопрокатного процесса / О. А. Криводубский, С. А. Косилов, А. В. Ильчишин // Научкові праці донецького національного технічного університету. – 2010. – № 11(164). – С. 172–180. 10. Криводубский О. А. Решение задачи оптимального планирования выполнения заказов на листопрокатном производстве / О. А. Криводубский, С. А. Косилов // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. темат. вып.: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2013. – № 2(976). – С. 13–21.

Bibliography (transliterated): 1. Shatalov, R. L., T. A. Koynov and N. N. Lytvynova. *Avtomatyzatsyya tekhnolohycheskykh protsessov prokatky u termoobrabotky metallov y splyavov*. – Moscow: ZAO "Metallurhyzdat", 2010. Print. 2. Konovalov, Yu. V. *Metallurhiya: uchebnoe posobie. Metallovedeniye y osnovy termycheskoy obrabotky metallov. Teoretycheskiye osnovy obrabotky metallov davleniyem. Sortament prokatnoy produktsyyi. Proyzvodstvo zahotovok, lystoprokatnoe proyzvodstvo*. Vol. 2. Donetsk: HVUZ "DonNTU", 2012. 3 vols. Print. 3. Hudvyn, H. K., S. F. Hrebe and M. E. Sal'hado *Proektyrovanye system upravlenyya*. Moscow: BYNOM. Laboratoriyya znanyy, 2004. Print. 4. Taha, Hjemdi A. *Vvedeniye v issledovaniye operacij*. Moscow: Vil'jams, 2007. Print. 5. Kolpakov, S. S., S. B. Kuznecova and V. K. Potemkin. *Problemy razrabotki integrirovannyh ASU listoprokatnym proyzvodstvom: nauchnoe izdaniye dlya studentov i aspiratov*. Moscow: INTERMET INZhINIRING, 1997. Print. 6. Lodon, Dzh., and K. Lodon. *Upravleniye informatsionnyimi sistemami*. SPb.: Piter, 2005. Print. 7. Maklennen, Dzh., et al. *Microsoft SQL Server 2008: Data Mining – intellektual'nyy analiz dannyh*. SPb.: BHV-Peterburg, 2009. Print. 8. Devjatov D. H., et al. "Jevristicheseskaja optimizatsionnaja model' dlja NP-polnyh zadach razbieniij s ogranichenijami, voznikajushhimi pri operativnom planirovanii listoprokatnogo proyzvodstva." *Informatsionnye tehnologii*. Moscow: "Novye tehnologii". No 9. 2009. 16-20. Print. 9. Krivodubskij, O. A., S. A. Kosilov and A. Il'chishin. "Opredeleniye vremennyh karakteristik listoprokatnogo processa." *Naukovi pratsi donets'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu*. No 11 (176). 2011. 172–180. Print. 10. Krivodubskij, O. A., and S. A. Kosilov. "Resheniye zadachi optimal'nogo planirovanija vypolnenija zakazov na listoprokatnom proyzvodstve." *Vestn. Har'k. politehn. in-ta. Ser.: Sistemnyj analiz, upravleniye i informatsionnye tehnologii*. Har'kov : NTU "HPI". No 2 (976). 2013. 13–21. Print.

Надійшла (received) 17.12.2014

С. А. ЦЫБУЛЬНИК, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
НИУ «УКРНИИЭП», Харьков

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ОДНОРОДНОГО ПОТОКА НА ВЗВЕШЕННОМ ГРАФЕ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ВЕРШИН

Предложен итеративный алгоритм выбора оптимальных интенсивностей источников однородного потока на слабо-связном взвешенном графе, любая пара вершин которого соединена не более чем одним путем, при ограничениях на пропускную способность вершин и фиксированных коэффициентах передачи (трансформации) потока по дугам. Алгоритм разработан для решения задач оптимизации водоохранных мероприятий для речной сети.

Ключевые слова: водный объект, водоохранные мероприятия, математическая модель, взвешенный граф, однородный поток, оптимизация.

Введение. Задачи о потоках на ориентированных графах (сетях) занимают важное место в теории исследования операций. Как правило, в них указывается пропускная способность ребер взвешенного графа, и при фиксированных весах вершин определяются оптимальные веса на ребрах графа, реализующие или максимизирующие поток между истоком и стоком графа [1–3]. Такой подход к взвешиванию пути на графе широко используется при решении разнообразных транспортных задач. Однако он не позволяет учесть структурные свойства таких естественных транспортных потоков, как водные системы, используемые для транспортировки удаляемых с возвратными водами отходов производства и жизнедеятельности человека.

В отличие от обычных транспортных задач, у графа речной сети пропускная способность устанавливается не для ребер, а для вершин. При этом оптимизируемыми переменными являются интенсивности источников потока в вершинах, а в качестве веса ребер фиксируются коэффициенты передачи (трансформации) потока между вершинами.

Оптимизация потока вещества через речную сеть заключается в нахождении таких коэффициентов уменьшения исходных интенсивностей источников потока в вершинах графа, при которых удовлетворяются ограничения на пропускную способность вершин (створов контроля качества воды), и достигается экстремум выбранного критерия оптимальности, например, суммарных затрат на необходимое снижение исходных интенсивностей источников потока. В общем случае такая задача может быть решена только с использованием достаточно сложных методов нелинейного математического программирования. В связи с этим актуальна разработка более простых и эффективных частных алгоритмов решения, учитывающих специфические особенности конкретной задачи.

Цель исследования: разработка алгоритма выбора оптимальных значений коэффициентов регулирования интенсивностей источников однородного потока в вершинах ориентированного слабо-связного взвешенного графа, любая пара вершин которого соединена не более, чем одним путем, при ограничениях на пропускную способность вершин и фиксированном весе направленных ребер (дуг) графа.

Постановка задачи. Пусть $G=(V,A)$ – ориентированный слабо-связный взвешенный граф, где $V=\{v_k\}$, $k \in K$ – множество вершин графа, $A=\{a_r\}$, $r \in R$ – множество дуг графа и пусть каждой вершине графа смежно не более одной его вершины.

Зададим на графе G однородный поток C , с источниками c_k в вершинах v_k . Без ограничения общности будем полагать, что граф содержит только один сток v_m со степенью выхода равной нулю. В противном случае добавим к графу новую вершину в качестве единственного стока, соединенного со старыми стоками дугами с нулевой пропускной способностью.

Определим интенсивности источников потока в вершинах как

$$\bar{c}_k = \sum_{i \in I_k} \bar{a}_{ki} \bar{c}_i (1 - u_i), \quad (1)$$

где \bar{c}_{ki} – исходная интенсивность источника потока i в вершине k ;

I_k – множество индексов источников потока в вершине k ;

\bar{a}_{ki} – коэффициент передачи потока от источника i к вершине k ($0 \leq \bar{a}_{ki} \leq 1$);

u_i – коэффициент регулирования интенсивности источника i ($0 \leq u_i \leq 1$).

Тогда задача оптимизации интенсивности потока может быть записана в виде задачи математического программирования с критерием вида

$$\left\{ F(u) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I_k} f_i(u_i) \right\} \rightarrow \min_u. \quad (2)$$

и системой ограничений вида

$$c_k \leq b_k, \quad k \in K, \quad (3)$$

где $f_i(u_i)$ – затраты на регулирование интенсивности источника потока $i \in I_k$ в вершине k ;

c_k – суммарный поток через вершину k

$$c_k = \bar{c}_k + \sum_{j \in J_k} a_{kj} c_j, \quad k \in K; \quad (4)$$

a_{kj} – коэффициент передачи потока от вершины j к вершине k ($0 \leq a_{kj} \leq 1$);

J_k – множество индексов вершин, которым смежна вершина k ;

b_k – ограничение на суммарный поток через вершину k .

Результаты исследования. Пронумеруем вершины покрывающего дерева графа начиная от конца каждой ветви к ее корню, нумеруя вершины ветвления после нумерации всех вышележащих вершин. Соответственно порядку вершин, последовательно пронумеруем источники потока в них.

Преобразуем (4) к не рекуррентной форме, развернем относительно u_i и подставим в (3). Умножим обе части каждого ограничения k на общий коэффициент передачи потока от вершины k к стоку графа. Тогда в каждом ограничении перед каждой переменной u_i будет стоять один и тот же коэффициент α_i ($0 \leq \alpha_i \leq 1$) и ограничения задачи примут вид

$$\sum_{i \in \Theta_k} \alpha_i u_i \geq \beta_k, \quad k \in [1, m], \quad (5)$$

$$u_i^{\min} \leq u_i \leq u_i^{\max}, \quad i \in [1, n], \quad (6)$$

где m – мощность множества K ;

n – мощность множества источников потока по всем вершинам графа;

Θ_k – множество индексов источников, влияющих на поток в вершине k ;

u_i^{\min} и u_i^{\max} – ограничения на допустимые значения переменной u_i .

Ограничения (5) назовем вложенными, т.к. при выбранном способе нумерации вершин графа для любой пары вершин (k, p) справедливо условие

$$(\Theta_k \cap \Theta_p) \Rightarrow (k < p) \wedge (\Theta_k \subset \Theta_p) \vee (p < k) \wedge (\Theta_p \subset \Theta_k). \quad (7)$$

Будем далее полагать, что $f_i(u_i)$ – выпуклые (вниз) монотонно возрастающие функции на R^n . Теоретически это сужает область возможного применения алгоритма, но на практике в транспортных задачах рассматриваемого вида критериальные функции именно таковы.

Монотонность и выпуклость функций $f_i(u_i)$, неотрицательность коэффициентов α_i и вложенность ограничений (5) позволяют построить итеративную пошаговую процедуру решения задачи (2), (5), (6), основанную на идеях методов максимального элемента и последовательных приращений и кусочно-линейной аппроксимации функций $f_i(u_i)$ [4]. Необходимые и достаточные условия оптимальности решения задачи имеют вид:

$$\begin{aligned} \text{I. } \forall i \in I_k, \quad k \in K^n : u_i = u_i^{\min}, \\ \text{II. } \forall (i, p) \in \Theta_k, \quad k \in K^a : \frac{c_i^+}{\alpha_i} \geq \frac{c_p^-}{\alpha_p}, \end{aligned} \quad (8)$$

где c_i^- и c_i^+ – угловые коэффициенты кусочно-линейной аппроксимации функций $f_i(u_i)$ с шагом h_i влево и вправо от текущего значения переменной u_i ;

K^a – множество активных ограничений системы (5);

K^n – множество пассивных ограничений системы (5), не вложенных ни в одно из активных ограничений (если множество не пусто, оно по определению включает последнее ограничение задачи для вершины m).

Первое условие означает, что переменные, не входящие в активные ограничения, принимают минимальные значения. Второе – что решение нельзя улучшить ни по какой паре входящих в активные ограничения переменных при противоположном приращении последних.

Пусть M – достаточно большое число. Определим границы интервалов и угловые коэффициенты кусочно-линейной аппроксимации $f_i(u_i)$, $i \in [1, n]$ как

$$\begin{aligned} u_i^- &= \max(u_i^{\min}, u_i - h_i), \\ u_i^+ &= \min(u_i^{\max}, u_i + h_i), \\ c_i^- &= \begin{cases} (f_i(u_i) - f_i(u_i^-)) / (u_i - u_i^-), & \text{если } u_i > u_i^{\min}, \\ 0, & \text{если } u_i = u_i^{\min}, \end{cases} \\ c_i^+ &= \begin{cases} (f_i(u_i^+) - f_i(u_i)) / (u_i^+ - u_i), & \text{если } u_i < u_i^{\max}, \\ M, & \text{если } u_i = u_i^{\max}. \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

Определим для переменной u_p минимальную невязку пассивных ограничений задачи, вложенных в ограничение с номером s как

$$\gamma_p(s) = \min_{k \in K^a} \left(\sum_{j \in \Theta_k} \alpha_j u_j - \beta_k / p \in \Theta_k, k < s \right). \quad (10)$$

Пусть K_γ – множество k , доставляющих минимум $\gamma_p(s)$, $\omega(i) = \min\{j / j \in K^a, p \in \Theta_j\}$ – номер первого активного ограничения, содержащего u_i и ε – достаточно малая величина. Тогда алгоритм определения оптимальных значений коэффициентов регулирования интенсивностей источников потока u_i можно представить в следующем виде:

1. Положить $h_i = 0,5 \cdot (u_i^{\max} - u_i^{\min})$ для $i \in [1, n]$.
2. Положить $u_i^- = u_i^{\max}$ для $i \in [1, n]$; если система (5) несовместна, остановиться, так как задача не имеет решения.
3. Определить множества K^a, K^H .
4. Определить u_i^-, u_i^+, c_i^- и c_i^+ для $i \in [1, n]$.
5. Если выполняется условие оптимальности I, то если $K^a = \emptyset$ перейти к шагу 21, иначе перейти к шагу 10.
6. Определить $p = \arg \max_{j \in I_m} (c_j^- / \alpha_j)$.
7. Вычислить $\gamma_p(m+1)$ и $\delta_p = \min(\gamma_p(m+1) / \alpha_p, u_p - u_p^-)$.
8. Если $\delta_p = \gamma_p(m+1) / \alpha_p$, то переместить из множества K^H в множество K^a все ограничения с номером $k \in K_\gamma$.
9. Положить $u_p = u_p - \delta_p$, определить $u_p^-, u_p^+, c_p^-, c_p^+$ и перейти к шагу 5.

10. Определить $t = \max \{j / j \in K^a\}$ и $p = \arg \max_{j \in \Theta_i} (c_j^- / \alpha_j)$.
11. Положить $s = \omega(p)$ и определить $i = \arg \min_{j \in \Theta_s} (c_j^+ / \alpha_j)$.
12. Если $i=p$, условие оптимальности II выполнено, перейти к шагу 20.
13. Если $\omega(i) \neq \omega(p)$, исключить из множества K^a ограничения k такие, что $i \in \Theta_k$ и $p \notin \Theta_k$.
14. Вычислить $\mu_p = \min(\alpha_p(u_p - u_p^-), \alpha_i(u_i^+ - u_i))$.
15. Определить $s = \min \{j / j \notin K, (i, p) \in \Theta_j\}$.
16. Вычислить $\gamma_p(s)$ и $\delta_p = \min(\gamma_p(s), \mu_p)$.
17. Положить $u_p = u_p - \delta_p / \alpha_p$ и $u_i = u_i + \delta_p / \alpha_i$.
18. Если $\delta_p = \gamma_p(s)$, то включить в множество K^a все ограничения с номером $k \in K_\gamma$.
19. Определить $u_p^-, u_p^+, c_p^-, c_p^+$ и $u_i^-, u_i^+, c_i^-, c_i^+$ и перейти к шагу 10.
20. Если $\max h_i > \varepsilon$, положить $h_i = h_i / 2, \forall h_i > \varepsilon$ и перейти к шагу 4.
21. Записать оптимальное решение.

Определенные с помощью данного алгоритма значения u_i определяют поток (3), удовлетворяющий наложенным ограничениям (4) и критерию оптимальности (2) и, следовательно, являются решением задачи (2)–(4).

Выводы. Разработанный алгоритм позволяет определить оптимальные водоохранные мероприятия, обеспечивающие нормативное качество поверхностных вод в бассейне реки по доминирующему либо интегральному показателю состава возвратных вод. Для расчета более сложных сетей, узлы которых соединены более чем одним путем, может быть использован разработанный автором универсальный алгоритм [5], позволяющий определить поток на графе произвольной конфигурации.

Список литературы: 1. Исследование операций : В 2-х т. Т. 1 / ред. Дж. Муудер, С. Элмаграби. – М. : Мир, 1981. – 712 с. 2. Басакер Р. Конечные графы и сети / Р. Басакер, Т. Саати. – М. : Наука, 1973. – 368 с. 3. Форд Л. Потoki в сетях / Л. Форд, Д. Фалкерсон. – М. : Мир, 1966. – 276 с. 4. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем / Е. А. Берзин. – М. : Сов. радио, 1974. – 304 с. 5. Цыбульник С. А. Применение итеративных алгоритмов расчета качества вод при выборе водоохранных мероприятий / С. А. Цыбульник // В кн.: Комплексные водоохранные мероприятия. – Харьков : ВНИИВО. – 1981. – С. 118–124.

Bibliography (transliterated): 1. Moudier, Dzh., and S. Jelmagrabi, ed. *Issledovanie operacij*. Vol. 1. Moscow: Mir, 1981. 2 vols. 2. Basaker, R., and T. Saati. *Konechnye grafy i seti*. Moscow: Nauka, 1973. Print. 3. Ford L., and Falkerson D. *Potoki v setjah*. Moscow: Mir, 1966. Print. 4. Berzin, E. A. *Optimal'noe raspredelenie resursov i jelementy sinteza sistem*. Moscow: Sov. radio, 1974. Print. 5. Tsybulnik, S. A. "Primenenie iterativnyh algoritmov rascheta kachestva vod pri vybore vodoohrannyh meroprijatij." *Kompleksnyye vodoohrannyye meroprijatija*. Kharkiv: VNIIVO, 1981. 118–124. Print.

Поступила (received) 11.12.2014

Т. В. НЕСКОРОДЕВА, канд. техн. наук, доц. ДонНУ, Винница

МЕТОДИКА МНОЖЕСТВЕННО-ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ АУДИТА

Предложена методика множественно-формального представления предметной области аудита для комплексного анализа по следующим направлениям: поставка, производство, продажа, финансово-экономическая деятельность; уровням и периодам управления; видам хозяйственной деятельности, средств и источников предприятия; по соответствию нормативных, плановых и отчетных данных. Методика проиллюстрирована на примере учета прямых материальных затрат.

Ключевые слова: множественно-формальное представление, предметная область аудита, комплексный анализ, учет прямых материальных затрат, методика.

Введение. В настоящее время в развитии международной и национальной экономик можно выделить следующие основные тенденции: формирование информационной экономики, ускорение темпов экономического развития под влиянием научно-технического прогресса, переход к постиндустриальной стадии развития. Данные тенденции с одной стороны расширяют возможности для внедрения информационных технологий обработки информации при аудите, а с другой стороны повышают требования к ним по функциональным возможностям и эффективности.

Выделим ряд недостатков информационных технологий аудита на сегодняшний день. Существующие ИТ в аудите позволяют автоматизировать только отдельные процедуры, например, процесс формирования выборки [1] или провести отдельные аналитические процедуры [2, стр. 105, 202]. Они не являются комплексными – не позволяют проводить многоуровневый анализ, по нескольким направлениям и реализовать функции по обобщению результатов анализа по различным операциям или объектам аудита [3]. Так в работе [4, стр. 4] представлена методика описания предметной области на основе проблемных ситуаций предприятия для выдачи рекомендаций при управлению основной деятельностью. В работе [5, стр. 6] предложена логико-лингвистическая модель предпочтений субъекта, реализованная применительно к описанию финансовой деятельности предприятия. Поэтому актуальной проблемой является разработка методологических основ информационных технологий обработки информации при аудите, которые бы позволили проводить многоуровневый анализ по разным направлениям.

Целью данной статьи является разработка методики множественно-формального представления предметной области аудита, как составной части методики построения комплексной информационной технологии обработки информации при аудите.

1. Классификация пользователей систем аудита. Предметная область анализа зависит от того в интересах, какой группы пользователей он проводится. Классификация групп пользователей систем аудита на основании их функций при взаимодействии с предприятием позволила выделить одиннадцать групп пользователей:

$$G_l, l = \overline{1,11}, \quad (1)$$

где l – вид группы пользователей,

G_1 – администрация, менеджеры верхнего и среднего уровня,

G_2 – собственники,

G_3 – работодатели,

G_4 – поставщики,

G_5 – покупатели,

G_6 – государственные органы,

G_7 – персонал предприятия,

G_8 – профсоюзы,

G_9 – аудиторские фирмы,

G_{10} – консалтинговые фирмы,

G_{11} – финансовые консультанты.

Различные цели и задачи групп пользователей $G_l, l = \overline{1,11}$ определяют функциональные особенности их работы и требования к функциональным возможностям соответствующих информационных технологий обработки финансово-экономической информации. Каждой функции соответствует множество возможных решений принимаемых относительно предприятия. Данные множества возможных решений определяют цели и задачи обработки информации предметной области и предметную область анализа.

2. Характеристика функциональных особенностей работы администрации, менеджеров верхнего и среднего уровня, как пользователей систем аудита. Рассмотрим первую группу пользователей A – администрация, менеджеры верхнего и среднего уровня. Функции при взаимодействии данной группы пользователей с предприятием – руководство предприятием в целом, по направлениям и подразделениям. Возможные решения: определение стратегии развития предприятия, управление деятельностью предприятия, решения о структурной и функциональной организации предприятия. Предметная область анализа – внутренняя информация о работе предприятия по направлениям (снабжению, производству, продажам, финансам), по струк-

турным подразделениям. Также финансово-экономическая информация об основной, финансовой, инвестиционной деятельности предприятия, о наличии и движении его хозяйственных средств и источников; внешняя информация о региональном, национальном и международных рынках. Цели и задачи обработки информации – получение аналитических, прогнозных, оценочных данных о деятельности предприятия в целом и по направлениям, структурных подразделений и о финансово-экономических результатах и положении предприятия.

Данную группу пользователей A – администрация, менеджеры верхнего и среднего уровня представим в виде объединения подгрупп пользователей по уровням принятия решений:

$$A = A_1 \cup A_2 \cup A_3$$

где A_1 – генеральный директор,

A_2 – менеджеры по направлениям работ (заместители по поставкам, производству, продажам, финансам),

A_3 – начальники подразделений.

Каждой группе пользователей поставим в соответствие множество возможных решений, которые определяются уставными, организационными документами предприятия, должностными инструкциями:

$$A_m \Rightarrow D_m, m = \overline{1,3}.$$

Множество возможных решений руководства предприятия представляет собой объединение множеств возможных решений на всех уровнях управления:

$$D = D_1 \cup D_2 \cup D_3.$$

В силу условия подчиненности руководителей нижних уровней, руководителям верхних уровней для множеств возможных решений по уровням управления выполняется условие вложения:

$$D_1 \supseteq D_2 \supseteq D_3.$$

Множества возможных решений на втором уровне можно представить в виде объединения подмножеств по направлениям работ:

$$D_2 = \bigcup_{i=1}^{n_2} D_2^i,$$

где i и n_2 – номер и количество направлений соответственно.

Положим $i=1$ – соответствует направлению поставок, $i=2$ – производству, $i=3$ – продаже, $i=4$ – финансово-экономической деятельности. Так как от решений по финансированию зависит производственная программа и решения по закупке сырья и реализации продукции, то для множеств возможных решений по направлениям выполняется условие вложения:

$$D_2^4 \supseteq D_2^1, D_2^4 \supseteq D_2^2, D_2^4 \supseteq D_2^3.$$

Множества возможных решений на третьем уровне можно представить в виде объединения подмножеств решений по подразделениям:

$$D_3 = \bigcup_{k=1}^{n_3} \bigcup_{i=1}^{n_2} D_3^{ik},$$

где k и n_3 – номер и количество подразделений соответственно.

Разработка решений основана на анализе данных предметной области по направлениям деятельности, подразделениям, уровням управления, хозяйственным операциям, средствам и источникам предприятия.

3. Методика множественно-формального представления предметной области аудита. Методика множественно-формального представления должна обеспечить возможность комплексного анализа предметной области по следующим направлениям:

- по соответствию нормативных, плановых и отчетных данных;
- по направлениям работы: поставка, производство, продажа, финансово-экономическая деятельность;
- по уровням управления;
- по периодам управления сутки, декада, месяц, квартал, год;
- по видам деятельности (хозяйственных операций): операционная (основная и другая операционная), финансовая, инвестиционная;
- по видам хозяйственных средств и источников предприятия.

Предметная область анализа за плановый период на всех уровнях включает данные: о нормативно-правовых ограничениях, плановые показатели, отчетную информацию о результатах работы. Следовательно, ее можно представить в виде объединения множеств нормативных, плановых и отчетных данных:

$$Q = N \cup P \cup E, N \cap P \neq \emptyset, E \cap P \neq \emptyset, E \cap N \neq \emptyset,$$

где Q – множество анализируемых данных (предметная область анализа),

N – множество нормативно-правовых данных,

P – множество плановых данных,

E – множество отчетных данных.

Кроме того, на верхнем уровне предметная область анализа включает внешние данные (информация о конкурентах, конъюнктуре рынка, экономической ситуации в регионе, стране, на мировом рынке, законодательной базы профильного министерства и других государственных органов, которые контролируют деятельность предприятия).

Предметную область анализа на верхнем уровне (по предприятию) можно представить в виде объединения множеств данных по каждому направлению и внешней информации:

$$Q = \bigcup_{i=1}^{n_2} Q^i \bigcup_{i=1}^{n_2} B^i,$$

где B – множество внешних данных.

Множества анализируемых данных по каждому направлению Q^i представим в виде объединения нормативных, плановых и отчетных множеств:

$$Q^i = N^i \bigcup P^i \bigcup E^i, \quad i = \overline{1, n_2}.$$

Анализ данных по направлениям осуществляется по видам работ, поэтому соответствующие множества анализируемых данных можно представить, в виде непересекающихся подмножеств по видам работ:

$$N^i = \bigcup_{v_i=1}^{V^i} N(v_i), \quad i = \overline{1, n_2},$$

$$P^i = \bigcup_{v_i=1}^{V^i} P(v_i), \quad i = \overline{1, n_2},$$

$$E^i = \bigcup_{v_i=1}^{V^i} E(v_i), \quad i = \overline{1, n_2},$$

где v и V – вид и количество работ согласно должностным инструкциям соответственно.

На среднем уровне данные анализируются по каждому подразделению. Поэтому множества анализируемых данных представим в виде объединения подмножеств данных по подразделениям:

$$Q^{ik} = N^{ik} \bigcup P^{ik} \bigcup E^{ik}, \quad i = \overline{1, n_2}, k = \overline{1, n_3}.$$

Анализ данных по подразделениям осуществляется по сотрудникам и видам работ, поэтому соответствующие множества анализируемых данных можно представить, в виде объединения подмножеств по сотрудникам и по видам работ:

$$N^{ik} = \bigcup_{r_k=1}^{R^k} \bigcup_{v_i=1}^{V^i} N(v_i, r_k), \quad i = \overline{1, n_2}, k = \overline{1, n_3},$$

$$P^{ik} = \bigcup_{r_k=1}^{R^k} \bigcup_{v_i=1}^{V^i} P(v_i, r_k), \quad i = \overline{1, n_2}, k = \overline{1, n_3},$$

$$E^{ik} = \bigcup_{r_k=1}^{R^k} \bigcup_{v_i=1}^{V^i} E(v_i, r_k), \quad i = \overline{1, n_2}, k = \overline{1, n_3},$$

где r, R – номер и количество сотрудников соответственно.

Любое предприятие согласно положениям (стандартам) бухгалтерского учета может осуществлять три вида обычной деятельности: операционную (основную и другую операционную), финансовую и инвестиционную. Соответственно множество предметной области анализа можно представить в виде объединения множеств данных по основной, финансовой и инвестиционной деятельности:

$$Q = Q_{on} \cup Q_{фин} \cup Q_{инв}$$

В подразделениях первых трех направлений (снабжения, производства и продажа) осуществляется операционная деятельность. Следовательно, в предметной области анализа по данным направлениям отображаются результаты операционной деятельности:

$$\bigcup_{i=1}^3 Q^i \subset Q_{on}.$$

В подразделениях финансово-экономического направления осуществляется учет результатов деятельности предприятия по первым трем направлениям. Следовательно, происходит отображение множеств данных по этим направлениям в подмножество данных по финансово-экономическому направлению:

$$\bigcup_{i=1}^3 Q^i \rightarrow Q'^4 \subset Q^4.$$

Также в подразделениях финансово-экономического направления осуществляется операционная деятельность по финансовым расчетам с

поставщиками и заказчиками, оплате труда и другим операциям, которая отображается во множестве документов $Q_{on}^4 \subset Q^4$. Финансовые операции и инвестиционная деятельность также осуществляются в подразделениях финансово-экономического направления и отображаются в документах множеств $Q_{фин}$ и $Q_{инв}$ соответственно. Следовательно, предметная область анализа по финансово-экономическому направлению предприятия имеет следующую структуру:

$$Q^4 = Q^{*4} \cup Q_{on}^4 \cup Q_{фин} \cup Q_{инв}.$$

Для анализа деятельности по хозяйственным операциям предметную область анализа Q представим в виде объединения непересекающихся подмножеств операций расходов Q_p и доходов Q_o :

$$Q = Q_p \cup Q_o, \quad Q_p \cap Q_o = \emptyset$$

Для производственного предприятия основной вид деятельности – производство продукции. Поэтому начнем с рассмотрения структуры множества операций расходов основной деятельности, которое является подмножеством множества операций расходов:

$$Q_p^{осн} \subset Q_p.$$

Последовательность аналитического учета прямых материальных затрат при вычислении производственной себестоимости продукции можно представить в виде графа $G^{(1)} = (Z^{(1)}, R^{(1)})$ (см. рис. 1), где вершины аналитические счета (см. табл. 1) на которых ведется учет наличия и движения по видам оборотных активов, а ребра – это операции в результате которых происходит движение этих оборотных активов.

Процесс отображения аналитического учета прямых материальных затрат начинается с заключения договоров на поставку сырья с каждым поставщиком Sup_r , $r = \overline{1, R}$ (документы множества Q_1) и оплаты счетов поставщиков (документы множества Q_4). Аналитический учет расчетов ведется по каждому поставщику на счете 631 «Расчеты с поставщиками», которому на графе соответствует вершина. Множество этих вершин образуют первый слой графа. Входы в эти вершины образуют данные, содержащиеся в договорах на поставку и счетах на оплату сырья. Операциям расчетов с поставщиками соответствует корреспонденция c_{311}^{631} – сумма операции и количество в натуральных единицах отображается на кредите счета 311

«Счета в банках в национальной валюте» и дебите счета 631 «Расчеты с поставщиками». Остаток на счете отображает дебиторскую задолженность по расчетам с поставщиками.

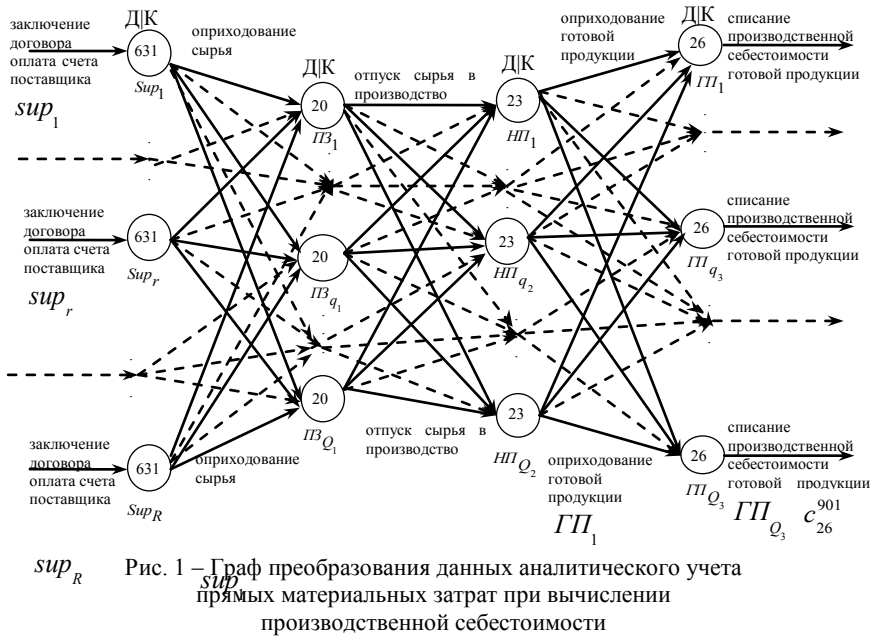


Рис. 1 – Граф преобразования данных аналитического учета прямых материальных затрат при вычислении производственной себестоимости

Выходы из вершин первого слоя графа образуют данные по операциям оприходования сырья. Входами данных операций являются вершины второго слоя – аналитические счета по видам запасов $ПЗ_{q(1)}$, $q(1) = \overline{1, Q_1}$. Сумма операции оприходования (с корреспонденцией c_{631}^{20}) отображается на кредите счета 311 «Расчеты с поставщиками» и дебите счета 20 «Запасы». Далее по схеме (см. рис. 1) аналогично в предметной области отображаются операции отпуска сырья в производство, оприходования готовой продукции и списания производственной себестоимости.

Выводы. Предложенная методика множественно-формального представления предметной области аудита в отличие от существующих [4, 5] позволяет проводить комплексный анализ по соответствию нормативных, плановых и отчетных данных; по направлениям работы: поставка, производство, продажа, финансово-экономическая деятельность; по уровням и периодам управления; по видам хозяйственных операций средств и источников предприятия.

Таблица 1 – Структура аналитических счетов учета движения оборотных активов

№ счета	Оборотные активы	Структура
20	Производственные запасы	$ПЗ = \bigcup_{q(1)=1}^{Q_1} ПЗ_{q(1)}$
23	Незавершенное производство	$НП = \bigcup_{q(2)=1}^{Q_2} НП_{q(2)}$
26	Готовая продукция	$ГП = \bigcup_{q(3)=1}^{Q_3} ГП_{q(3)}$
631	Дебиторская задолженность за товары, работы услуги	$ДТ = \bigcup_{q(4)=1}^{Q_4} ДТ_{q(4)}$
311	Счета в банках в национальной валюте	$БС = \bigcup_{q(6)=1}^{Q_6} БС_{q(6)}$

Список литературы: 1. Елисева И. И., Терехов А. А. Статистические методы в аудите / И. И. Елисева, А. А. Терехов. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 176 с. 2. Ивахненко С. В. Компьютерный аудит: контрольные методики и технологии / С. В. Ивахненко. – К. : Знання-Прес, 2005. — 286 с. 3. Подольский В. И. Компьютерный аудит / В. И. Подольский, Н. С. Щербаклова, В. Л. Комиссарова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 128 с. 4. Крошилина С. В. Разработка и исследование автоматизированных систем анализа деятельности предприятия с использованием семантических сетей: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.13.01. / С. В. Крошилина. – Рязань, 2009. – 20 с. 5. Корниенко А. А. Разработка и исследование логико-лингвистической модели поведения социально-экономических систем и ее применение к анализу финансовой деятельности предприятий: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.13.01. / А. А. Корниенко. – Томск, 2003. – 20 с.

Bibliography (transliterated): 1. Eliseeva, I. I., A. A. Terekhov. *Statisticheskie metody v audite*. Moscow: Finansi and Statistica, 1998. Print. 2. Ivahnenkov, S.V. *Komp'yuterniy audit: kontrolni metodiki i tehnologii*. Kiev: Znannja-Pres, 2005. Print. 3. Podolsky, V. I., N. S. Shcherbakova and V. L. Komissarov. *Computerniy audit*. Moscow: UNITY-DANA, 2004. Print. 4. Kroshilina, S V. *Razrabotka i issledovanie avtomatizirovannyh sistem analiza dejatel'nosti predpriyatija s ispol'zovaniem semanticheskikh setej*: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj ctepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.13.01, Rjazan', 2009. Print. 5. Kornienko, A A. *Razrabotka i issledovanie logiko-lingvisticheskoj modeli povedenija social'no-jekonomicheskikh sistem i ee primenenie k analizu finansovoj dejatel'nosti predpriyatij*: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj ctepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.13.01, Tomsk, 2003. Print.

Поступила (received) 15.12. 2014

О. В. ШМАТКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»;

Л. С. ОВЕЧКИНА, студент НТУ «ХП»

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО ТА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ФІНАНСОВОГО СТАНУ ЕМІТЕНТІВ

Пропонується метод комплексного фінансового аналізу емітента цінних паперів з використанням нечітких уявлень. Виконано огляд найбільш поширених методик аналізу фінансового стану підприємства. Виконано опис програмного забезпечення, що реалізує запропоновану методику.

Ключові слова: фондовий ринок, емітенти, банкрутство, оцінка фінансового стану, нечіткі уявлення.

Вступ. Фондовий ринок, або ринок цінних паперів займає дуже важливе і, можна сказати відособлене місце в сучасній економіці [1].

Для ефективної роботи фондового ринку необхідна присутність основних груп учасників: емітентів; інвесторів; фондових посередників. Емітент поставляє на фондовий ринок товар – цінний папір. Якість цінного паперу визначається статусом емітента та господарсько-фінансовими результатами його діяльності [2]. Оскільки фондовий ринок повинен виступати системою накопичення та перерозподілу ресурсів в економіці, емітенти в такій системі повинні займати відповідне місце [3, с. 172].

У період нестабільного розвитку економіки часто виникають ситуації, коли підприємства емітенти раптово стають банкрутами. Для того щоб передбачити такі ситуації необхідно здійснювати фінансовий аналіз та оцінку емітентів, які дозволять оцінити їх надійність, уникнути втрату інвестицій, що призводить до зниження інвестиційного ризику. Найбільш повно методи оцінки фундаментальних факторів стану емітентів для визначення майбутніх біржових цін на цінні папери розроблені і вивчені в працях таких закордонних авторів як Ф. Блока, Б. Грема (G. Benjamin), Д. Додда (D. David), С. Тернера (Turner St.), М. Томсета (Thomsett M.), Г. Кіма (Kim H.), С. Коттла, Р. Мюррея, Дж. Швайгера (Schwager J.) та інших. Проте досі не вироблено єдиних методичних підходів до комплексного аналізу фінансового стану емітента. В роботі [4] розглядаються імітаційні моделі для оцінки кредитного ризику емітента, в роботі [5] застосовується модель Альтмана для оцінки фінансового стану підприємства. Таким чином, проблема розробки методики аналізу та оцінки інвестиційної привабливості компанії-емітента є актуальною і сьогодні.

Постановка задач дослідження. Метою роботи є розробка математичного та програмного забезпечення інформаційної технології аналізу фінансо-

вого стану емітентів для ефективного прийняття рішення про інвестування коштів у цінні папери того чи іншого емітента, зниження інвестиційного ризику. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) виконати аналіз предметної області;
- 2) провести огляд існуючих методів і моделей оцінки фінансового стану;
- 3) розглянути метод комплексного фінансового аналізу на основі нечітких уявлень;
- 4) розробити функціональну модель програмного забезпечення для аналізу фінансового стану емітентів.

Існуючі методи розв'язання задачі. Найбільш поширеним підходом до аналізу ризику банкрутства підприємства є підхід Альтмана, який полягає в наступному:

Формується набір окремих фінансових показників підприємства, які на підставі попереднього аналізу мають найбільшу відносність до властивості банкрутства. Нехай таких показників N .

У N -вимірному просторі, утвореному виділеними показниками, проводиться гіперплощина, яка найкращим чином відокремлює успішні підприємства від підприємств-банкрутів, на підставі даних дослідженої статистики. Рівняння цієї гіперплощини має вигляд:

$$Z = \sum_{(i)} \alpha_i \times K_i, \quad (1)$$

де K_i – функції показників бухгалтерської звітності,
 α_i – отримані в результаті аналізу ваги.

Здійснюючи паралельний перенос площині (1), можна спостерігати, як перерозподіляється число успішних і неуспішних підприємств, що потрапляють в ту чи іншу підобласть, відсічену даною площиною. Відповідно, можна встановити порогові нормативи Z_1 і Z_2 : коли $Z < Z_1$, ризик банкрутства підприємства високий, коли $Z > Z_2$ – ризик банкрутства низький, $Z_1 < Z < Z_2$ – стан підприємства не визначено. На підставі цього методу було створено ще декілька аналогічних моделей, що успішно використовуються, таких як: Модель Тоффлера и Тішоу, Модель Ліса, Модель Чессера. До недоліків цих моделей слід віднести наступне: підхід Альтмана та аналогічні моделі не володіють стійкістю до варіацій у вихідних даних [6].

Існують також підходи, які можна умовно назвати «якісними». Вони ґрунтуються на вивченні окремих характеристик, притаманних бізнесу, що розвивається у напрямку до банкрутства. Одним з «якісних» підходів є підхід Аргенті. Суть його в наступному. Дослідження в рамках підходу починається з припущень, що (а) йде процес, що веде до банкрутства, (б) процес цей для свого завершення вимагає декількох років і (в) процес може бути розділений на три стадії: недоліки, помилки, симптоми.

При розрахунку A -рахунку конкретної компанії необхідно ставити або кількість балів згідно Аргенті, або 0 – проміжні значення не допускаються.

Кожному чиннику кожній стадії привласнюють певну кількість балів і розраховують агрегований показник – *A*-рахунок. Якщо сума балів більше 25, компанія може збанкрутувати протягом найближчих п'яти років. Чим більше *A*-рахунок, тим скоріше це може статися. Недоліком даного методу є те, що на сьогоднішній день у світовій практиці відсутні універсальні загальнови-знані вимірники, що використовуються в аналізі якісних факторів, а специ-фіка конкретного господарюючого суб'єкта вимагає формування специфіч-них для його показників допустимих нормативів [6].

Метод комплексного фінансового аналізу на основі нечітких уявлень. Метод комплексного фінансового аналізу виконується в декілька етапів.

Етап 1 (Множини). Виділяють множини та підмножини станів підприємства-емітента (сприятливе, несприятливе тощо).

Етап 2 (Показники). Для аналізу обираються 6 показників фінансової діяльності: X_1 – коефіцієнт автономії, X_2 – коефіцієнт забезпеченості оборотних активів власними коштами, X_3 – коефіцієнт проміжної ліквідності, X_4 – коефіцієнт абсолютної ліквідності, X_5 – оборотність всіх активів в річному, X_6 – рентабельність всього капіталу.

Етап 3 (Значимість). Для кожного показника буде встановлено свій ваговий коефіцієнт, який розраховується за формулою (2) або (3). Відповідно до встановлених вагових коефіцієнтів одні показники будуть більш (менш) значущі, ніж інші.

Якщо система показників прорангована в порядку убавання їх значущості, то значущість i -го показника r_i слід визначати за правилом Фішберна:

$$r_i = \frac{2(N - i + 1)}{(N - 1)N}, \quad (2)$$

Якщо ж всі показники мають рівну значимість, тоді

$$r_i = 1/N, \quad (3)$$

Визначимо лінгвістичну змінну «Рівень показника X » з її термами безлічі значень «Дуже низький, Низький, Середній, Високий, Дуже високий».

Для кожного i -го фактора встановимо нечітку відповідність його поточного рівня кожному значенню лінгвістичної змінної «Рівень i -го показника», задавши трапецієвидну функцію приналежності, як представлено на рис. 1.

Верхня основа трапеції відповідає повній впевненості експерта в правильності своєї класифікації, а нижня. впевненості в тому, що ніякі інші значення інтервалу (0,1) не потрапляють в вибрану нечітку підмножину [6, 7].

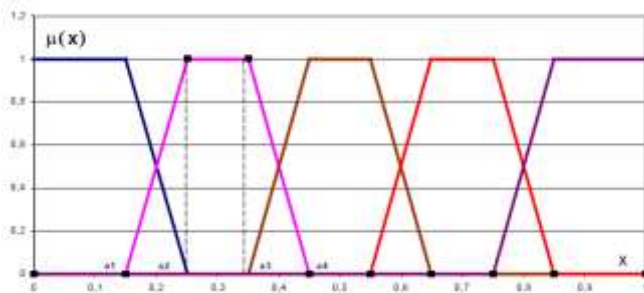


Рис. 1 – Трапецієподібна функція приналежності

Етап 4 (Класифікація значень показників). У результаті аналізу будується нечітка класифікація обраних параметрів.

Етап 5 (Класифікація ступеня ризику). Побудуємо класифікацію поточного значення g показника ступеня ризику G як критерій розбиття цієї множини на підмножини (табл. 1)

Таблиця 1 – Класифікація ступеня ризику

Інтервал значень G	Найменування підмножини
$0.8 < g < 1$	G_1 – «граничний ризик банкрутства»
$0.6 < g < 0.8$	G_2 – «ступінь ризику банкрутства висока»
$0.4 < g < 0.6$	G_3 – «ступінь ризику банкрутства середня»
$0.2 < g < 0.4$	G_4 – «низька ступінь ризику банкрутства»
$0 < g < 0.2$	G_5 – «ризик банкрутства незначний»

Етап 6 (Класифікація рівня показників). проведемо класифікацію поточних значень x . Результатом проведеної класифікації є $\lambda_{ij} = 1$, якщо $b_i(j-1) < x_i < b_{ij}$, та $\lambda_{ij} = 0$ в протилежному випадку (коли значення не потрапляє в обраний діапазон класифікації).

Етап 7 (Оцінка ступеня ризику). Тепер виконаємо формальні арифметичні дії по оцінці ступеня ризику банкрутства g :

$$g = \sum_{j=1}^5 g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij}, \quad (4)$$

де

$$g_j = 0.9 - 0.2(j - 1), \quad (5)$$

λ_{ij} рівень показників, а r_i – за формулою (2) або (3).

Етап 8 (Лінгвістичне розпізнавання). Класифікуємо отримане значення ступеня ризику на базі даних таблиці 1 [6, 7].

Для програмної реалізації запропонованого методу розроблено опис сценаріїв використання. Виділяються три актора: оператор, аналітик, адміністратор (рис. 2).

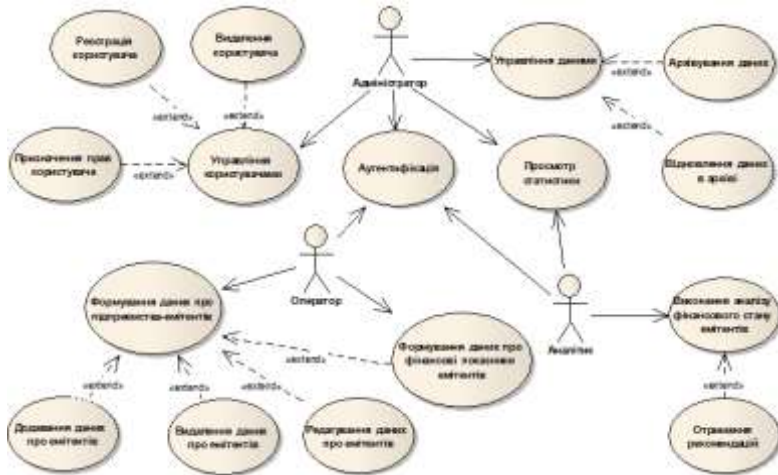


Рис. 2– Діаграма варіантів використання

Під архітектурою програмного забезпечення (ПЗ) розуміють набір внутрішніх структур ПЗ, що видні з різних точок зору і складаються з компонентів, їх зв'язків і можливих взаємодій між компонентами, а також доступних ззовні властивостей цих компонентів.

Існує два основних широко використовуваних типа архітектури: клієнт-серверна архітектури і трирівнева. Архітектура клієнт-сервер є одним із архітектурних шаблонів програмного забезпечення та є домінуючою концепцією у створенні розподілених мережних застосувань і передбачає взаємодію та обмін даними між ними. Діаграма компонент містить фізичне представлення моделі у вигляді набору програмних компонент проектованої інформаційної системи і залежностей між цими компонентами. Також діаграма компонент відображає поведінку компонент, видиму ззовні проектованої системи, у вигляді відповідних інтерфейсів.

На рис.3 представлена клієнт-серверна архітектура інформаційної системи для комплексної фінансової оцінки емітента цінних паперів.

MS SQL Server2008 – сервер баз даних з бізнес-логікою під управлінням СУБД MS SQL Server2008. Клієнт – робоча станція користувача системи. Кількість робочих станцій дорівнює деякому обмеженому числу n . Клієнтські станції зв'язані з сервером по протоколу TCP/IP. На клієнтських робочих станціях розміщені другорядні компоненти бізнес-логіки, і система представлення результатів у вигляді тонкого клієнту.

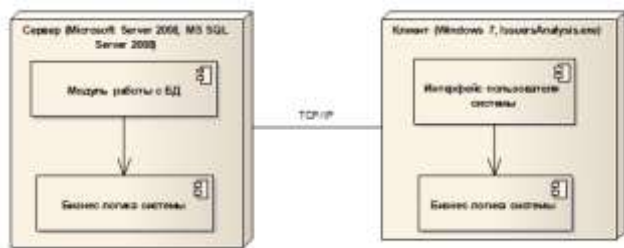


Рис. 3 – Діаграма компонентів

Висновки. В роботі виконана розробка алгоритмічного забезпечення для аналізу фінансового стану емітентів на ринку цінних паперів на базі нечітких уявлень. Проведено огляд предметної області, пов'язаної з оцінкою фінансового стану емітентів; виконано огляд існуючих методів аналізу фінансового стану підприємства; запропоновано метод комплексного фінансового аналізу на основі нечітких уявлень, визначені вимоги до інформаційної системи, що реалізує запропонований алгоритм.

Список літератури: 1. Жуков Е. Ф. Рынок ценных бумаг / Е. Ф. Жуков // Москва: Юнити-Дата, – 2009. – С. 14. 2. Белоглазова Г. Н. Финансовые рынки и финансово-кредитные институты / Г. Н. Белоглазова, Л. П. Кроливецкая // СПб : Питер, – 2013. – С. 272–273. 3. Ластовенко О. В. Формування двошаровості аттракторів в системі фондового ринку / О. В. Ластовенко // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (16 –18 травня 2013 р.): Фінансова система України: проблеми та перспективи розвитку в умовах трансформації соціально-економічних відносин. – 2013. – 367 с. 4. Шкляев Л. О. Имитационное моделирование кредитного риска эмитента корпоративных облигаций / Л. О. Шкляев // Москва, 2012. – Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/imitatsionnoe-modelirovanie-kreditnogo-riska-emitenta-korporativnykh-obligatsii>. – Дата звертання : 30 грудня 2014. 5. Патласов О. Ю. Применение моделей и критериев Альтмана в анализе финансового состояния сельхоз предприятия / О. Ю. Патласов // Москва, 2006. – Режим доступа : <http://dis.ru/library/699/26221/>. – Дата звертання : 30 грудня 2014. 6. Недосекин А. О. Нечетко-множественный анализ рисков фондовых инвестиций / А. О. Недосекин // СПб : Типография «Сезам», – 2002. – С. 42–66. 7. Трухачева Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р. И. Трухачева // Москва : Наука, – 1976.

Bibliography (transliterated): 1. Jukov, Ye.F., *Rynok cennykh bumag* Moscow: Yuniti-Data, 2009. 14. Print. 2. Beloglazova, G.N., *Finansovye rynki i finansovo-kreditnyye instituty*. St. Petersburg: Piter, 2013. 272–273. Print. 3. Lastovenko, O. V. "Formuvannya dvoшарovosti attraktoriv v systemi fondovogo rynku." *Zbirnyk tez dopovidey Mijnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferenciyi (16 –18 May 2013): Finansova sistema Ukrainy problem ta perspektivy rozvydku v umovah transformacyyi socialno-ekonomichnykh vidnosyn*, 2013. Print. 4. Shklyayev L.O. *Imitacionnoye modelirovaniye kreditnogo riska emitenta korporativnykh obligatsii*. Moscow, 2012. Web. 30 December 2014 < <http://www.dissercat.com/content/imitatsionnoe-modelirovanie-kreditnogo-riska-emitenta-korporativnykh-obligatsii>> 5. Patlasov O.Yu. *Primeneniye modeley I kriteriyev Altmana v analize finansovogo sostoyaniya selhoz predpriyatiya*. Moscow, 2006. Web. 30 December 2014 < <http://dis.ru/library/699/26221/>> 6. Nedosekin, A.O. *Nechetko-mnojestvennyy analiz riskov fondovykh investitsiy*. St. Petersburg: Tipografiya "Sezam", 2002. 42–66. Print. 7. Truhayeva, R.I. *Modeli prinyatoya resheniy v usloviyah neopredelyonnosti*. Moscow: Nauka, 1996. Print.

Надійшла (received) 15.12.2014

И. И. МАРЧЕНКО, ас. НТУ «ХПИ»

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ АТОМОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Предлагается метод обработки данных, полученных в результате моделирования процессов формирования тонких пленок методом молекулярной динамики, для нахождения поверхностных атомов материала. Данный метод был протестирован для ряда типичных примеров и показал корректные результаты. Результаты работы предложенного метода могут быть использованы для нахождения плотности, шероховатости, микронапряжений и пр.

Ключевые слова: математическое моделирование, молекулярная динамика, вычислительный алгоритм.

Введение. В настоящее время для исследования эффектов, происходящих при осаждении наноразмерных плёнок, широкое распространение получил метод молекулярной динамики (МД) [1–2]. Так, авторами в работах [3–4] был сформулирован метод молекулярной динамики с цветным шумом, который позволяет адекватно моделировать процесс осаждения металлических пленок в широком диапазоне температур. Результатом работы МД является в заданные моменты времени координаты всех атомов моделируемого образца.

Однако для получения макроскопических характеристик материала, таких, как плотность, шероховатость, величина удельной поверхности и пр. необходимо определить атомы, формирующую поверхность материала. В случае, когда материал имеет сложную дефектную структуру, задача нахождения таких частиц становится нетривиальной. Поэтому целью данной работы было разработка методов компьютерного анализа структуры поверхностных слоев.

Алгоритм идентификации поверхностных атомов. Исходными данными для идентификации поверхностных атомов являются линейные размеры расчетной ячейки (x_s, y_s, z_s) и координаты частиц $\mathbf{x}_s^{(i)}$, где $i = 1..N$ – порядковый номер частицы, N – количество частиц в моделируемом образце.

В данной работе в качестве критерия принадлежности атома поверхности предложено использовать значение электронной плотности вокруг данной частицы. Для нахождения ее значения следует осуществить переход от непрерывного пространства к дискретному. То есть расчетная ячейка разбивается на k блоков, каждый из которых имеет линейные размеры $(cell_x, cell_y, cell_z)$. Линейные размеры выбираются таким образом,

чтобы в любой блок не могло попасть больше одного атома. Также необходимо, чтобы в расчетной ячейке помещалось целое количество блоков, то есть $x_s / cell_x$, $y_s / cell_y$ и $z_s / cell_z$ являлись натуральными числами.

В качестве структуры данных для организации блоков используется 3-хмерный массив $D_{i,j,k}$, где i, j, k – индексы в данном массиве, $i \in [0, x_s / cell_x]$, $j \in [0, y_s / cell_y]$, $k \in [0, z_s / cell_z]$. Вещественные координаты расчетной ячейки $D_{i,j,k}$ могут быть найдены при помощи следующего выражения:

$$coord(i, j, k) = \left(i \cdot \frac{x_s}{cell_x}, j \cdot \frac{y_s}{cell_y}, k \cdot \frac{z_s}{cell_z} \right). \quad (1)$$

Характеристикой ячейки $D_{i,j,k}$ выступает значение электронной плотности ρ , которая приходится на геометрические координаты данной ячейки. Поэтому массив D будем в дальнейшем называть картой электронной плотности.

Для нахождения значения ячейки $D_{i,j,k}$ карты электронной плотности используется формула

$$D_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N \psi^{(n)} \left(\left| \mathbf{x}^{(n)} - coord(i, j, k) \right| \right). \quad (2)$$

где $\psi^{(n)}(r)$ – функция электронной плотности для частицы n , r – расстояние между рассматриваемой ячейкой и n -м атомом материала. Вокруг атома функция электронной плотности $\psi^{(n)}(r)$ может быть аппроксимирована Гауссианом

$$\psi^{(n)}(r) = \exp(-\beta r^2) \quad (3)$$

где β – константа, выбираемая таким образом, чтобы плотность существенно уменьшалась и была близко к нулю на расстоянии превышающем α – постоянную кристаллической решетки.

После заполнения карты электронной плотности D , в ней можно выделить ячейки, в которых значения суммарной электронной плотности меньше определенного значения ψ_ρ . Данная величина является минимальной, начиная с которой можно считать, что ячейка характеризует заполненную частицами область материала. Значение ψ_ρ для конкретного материала можно найти, взяв значение ячейки $D_{i,j,k}$, координаты которой соответствует геометрическому центру единичной вакансии.

Для хранения результатов анализа создается массив признаков C , размеры которого соответствуют массиву D . Значение ячеек массива C находятся по формуле

$$C_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & D_{i,j,l} > \delta_\rho \\ 0, & D_{i,j,l} \leq \delta_\rho \end{cases} \quad (3)$$

где «0» характеризует «пустоту», «1» обозначает, что ячейка принадлежит материалу.

Для нахождения ячеек, которые формируют поверхность материала, используется модификация рекурсивного алгоритма растровой заливки изображений [5].

Данный алгоритм был модифицирован для использования в трехмерном пространстве. В ячейку $C_{i,j,k}$ заносится значение «2», что соответствует «внешнему пустому пространству». Вокруг этой ячейки $D_{i,j,k}$ проверяются соседние $C_{i+\Delta i, j+\Delta j, k+\Delta k}$, $\Delta i = -1, 0, 1$, $\Delta j = -1, 0, 1$, $\Delta k = -1, 0, 1$. Если ячейка $C_{i+\Delta i, j+\Delta j, k+\Delta k}$ содержит характеристику «1», то она изменяет свое значение на «3». Характеристика «3» обозначает то, что данная ячейка участвует в формировании поверхности материала. Если же значение ячейки $C_{i+\Delta i, j+\Delta j, k+\Delta k}$ было равным «0», то идет рекурсивный вызов данной функции, но уже для ячейки $C_{i+\Delta i, j+\Delta j, k+\Delta k}$.

Процедура «раскраски» начинается с верхней части массива, например, с ячейки $C_{0,0,j,z_s/cellz}$, так как данная ячейка будет всегда принадлежать внешнему пустому пространству. В результате получается 3-мерный массив C , в котором содержится информация о пустотах и их границах.

Непосредственно для нахождения атомов, формирующих поверхность, используется следующий подход. Если ячейка $C_{i,j,k}$ имеет характеристику «3» и вклад в электронную плотность этой ячейки от атома n больше некоторого значения δ_ρ^* , то есть если

$$(C_{i,j,k} = 3) \wedge (\psi^{(n)}(|\mathbf{x}^{(n)} - coords(i, j, k)|) > \psi_\rho^*),$$

то считается, что атом участвует в формировании поверхности материала и добавляется в список атомов S . Пороговое значение электронной плотности ψ_ρ^* можно оценить, разделив ψ_ρ на количество первых соседей в кристаллической решетке для конкретного материала. Последовательно рассматривая для каждого атома ячейки $C_{i,j,k}$, можно выделить все поверхностные атомы. Блок-схема данного алгоритма приведена на рис. 1.

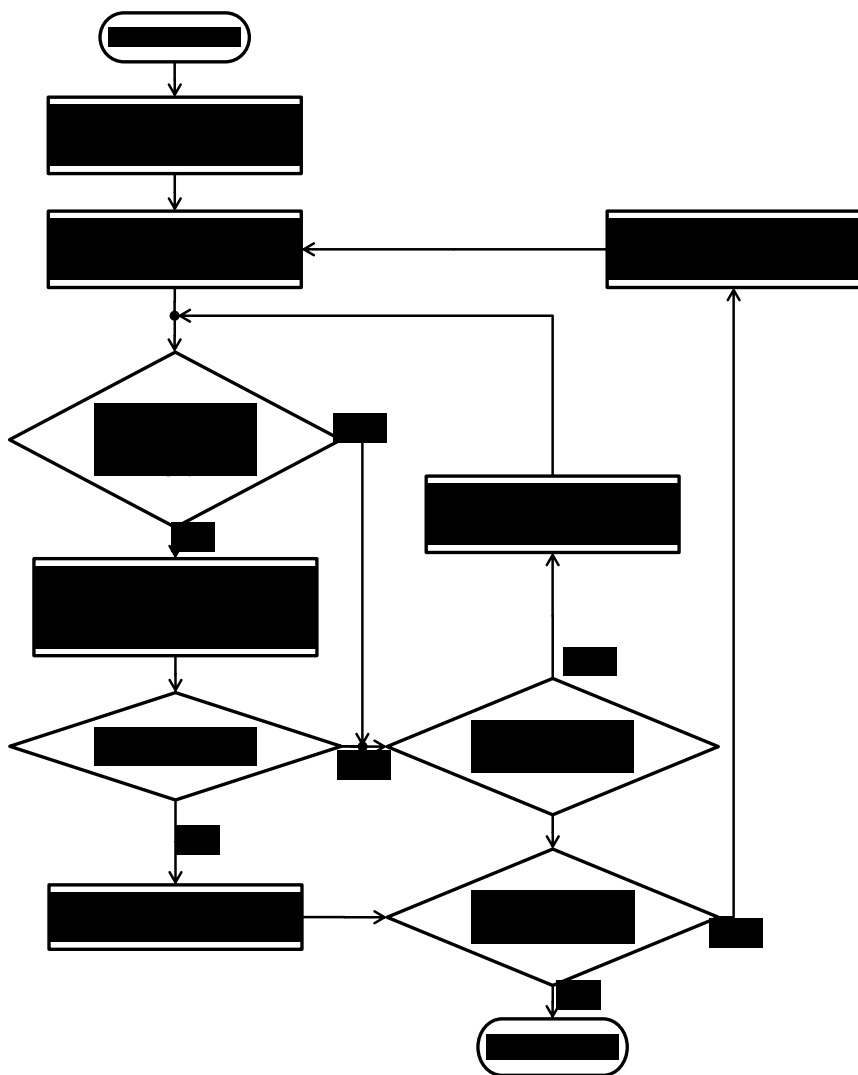


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма нахождения поверхностных атомов

Верификация предложенного алгоритма. Разработанные алгоритмы были протестированы для набора типичных задач и для случаев со сложной геометрией поверхности, когда она неоднозначно определена по высоте. Так, на рис. 2 приведен срез микрокристаллита со сложной геометрией.

Для данного тестового примера была построена «карта плотности» (см. рис. 3, *а*), массив характеристик (см. рис. 3, *б*). Его обработка после нахождения поверхности приведена на рис. 3, *в*.

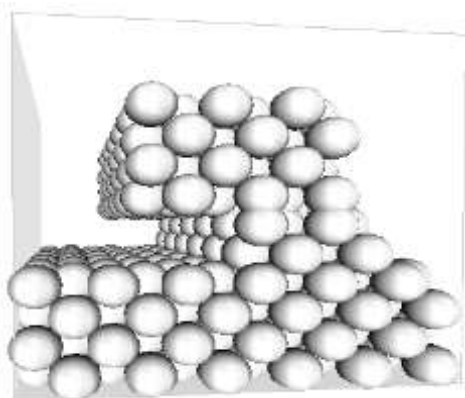


Рис. 2 – Срез материала с внутренней вакансией

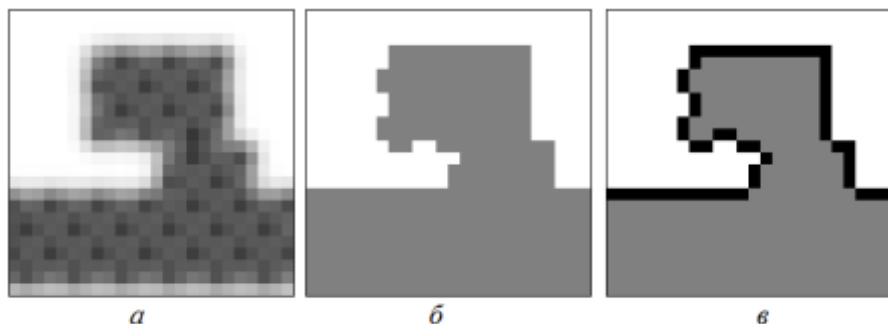


Рис. 3 – Этапы работы алгоритма обнаружения поверхности для сложных поверхностей: *а* – срез карты электронный плотности, *б* – срез массива характеристик до нахождения поверхности, *в* – обработанный массив характеристик

Далее были отобраны атомы, образующие поверхность материала. Результаты приведены на рис. 4. Как видно из рисунка, разработанные методы позволяют корректно находить поверхность материала со сложной геометрией. Тестовые расчеты для других примеров тоже дали корректные результаты.

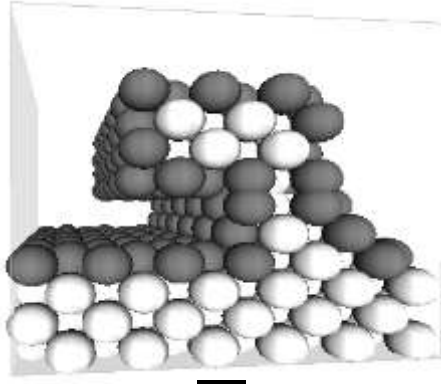


Рис. 4 – Атомы, формирующие поверхность и ограничивающие вакансию. Светлым цветом обозначены атомы внутри материала, серым – поверхностные атомы.

Выводы. Таким образом, в данной работе был предложен вычислительный метод, при помощи которого можно получать координаты частиц, которые формируют поверхность материала. Используя данный метод, могут быть найдены макрохарактеристики материала, такие как плотность, шероховатость, микронапряжения и пр.

Список литературы: 1. Haile J. M. *Molecular Dynamics Simulation: Elementary Methods* / J. M. Haile. - Chichester : Wiley, 1992. – 489 p. 2. Rapaport D. C. *The Art of Molecular Dynamics Simulation* / D. C. Rapaport. – Cambridge: Cambridge University Press, 1996. – 564 p. 3. Марченко И. Г. Молекулярная динамика с квантовой статистикой для исследования динамических свойств металлов / И. Г. Марченко, И. И. Марченко // Вестник ХНУ. – 2010. – № 933 : Сер. «Ядра, частицы, поля». Вып. 4 (48). – С. 41 – 48. 4. Куценко А. С. Компьютерная модель процесса низкотемпературного осаждения металлических пленок из атомно-ионных потоков / А. С. Куценко, И. И. Марченко // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2013. – № 3 (977). – С. 153-158. 5. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: Пер. с англ / Т. Павлидис – М. : Радио и связь, 1986. – 400 с.

Bibliography (transliterated): 1. Haile, J. M. *Molecular Dynamics Simulation: Elementary Methods*. New York: Wiley, 1992. Print. 2. Rapaport, D. C. *The Art of Molecular Dynamics Simulation*. New York: Cambridge UP., 1996. Print. 3. Marchenko, I. G., and I. I. Marchenko. "Molekuljarnaja Dinamika S Kvantovoj Statistikoju Dlja Issledovanija Dinamicheskijh Svojstv Metallov." *Vestnik Har'kovskogo Nacional'nogo Universiteta Jadra, Chasticy, Polja* 933.4(48) (2010): 41-48. Print. 4. Kucenko, A. S., and I. I. Marchenko. "Komp'juternaja Model' Processa Nizkotemperaturnogo Osazhdenija Metallicheskijh Plenok Iz Atomno-ionnyh Potokov." *Vestnik Nacional'nogo Universiteta "HPI"* 3.977 (2013): 153-58. Print. 5. Pavlidis, T. *Algoritmy Mashinnoj Grafiki I Obrabotki Izobrazhenij*. Moscow: Radio I Svjaz', 1986. Print.

Поступила (received) 05.12.2014

О. Є. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, професор НТУ «ХПІ»;
І. Д. КРЮКОВ, студент НТУ «ХПІ»

ПРОЦЕДУРА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ ФІЗИЧНОЇ ОСОБИ

Пропонується підхід до управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи, в рамках якого потрібно визначити оптимальну стратегію управління інвестиційним портфелем шляхом знаходження ризикової структури портфеля і розподілу капіталу між різними видами активів. Розглядається одна з основних портфельних теорій – модель Марковіца, яка є фундаментальною у теорії портфельних інвестицій.

Ключові слова: інвестиції, портфель, управління, активи, ризики, акції, банківські вклади, фізична особа, формування інвестиційного портфеля.

Вступ. На даний час портфельне інвестування в Україні для фізичної особи – це ще одна можливість зберегти та примножити свої кошти. Нажаль в нашій країні цей спосіб не має такої великої популярності, як наприклад, в США. Зазвичай це пов'язано з не цілком ясным розумінням всього процесу формування інвестиційного портфеля. Проблема купівлі цінних паперів теж грає свою роль. Стає питання вибору брокерської компанії, яка надає послуги на фондовому ринку. Загальна схема процесу інвестування зображена нижче:



Рис. 1 – Загальна схема процесу інвестування для фізичної особи

Але куди важливішим є питання про те, в які саме активи та скільки грошей потрібно інвестувати, щоб отримати задовільний прибуток. Потрібна інформація, яка підтвердить правильність дій інвестора та буде це робити протягом усього горизонту інвестування. Будь-який інвестор повинен прийняти чи відкинути інвестиційний проект, керуючись правилом чистої поточної вартості, незалежно від індивідуальних переваг.

Таким чином, задача управління структурою інвестиційного портфеля завжди є актуальною та являє собою ключову роль в початку та продовженні успішної роботи інвестора. Саме від управління залежить муйбутній прибуток, а як раз це і є основною метою інвестування для фізичної особи.

© О. Є. Голоскоков, І. Д. Крюков, 2014

Опис об'єкта управління. Сутність проблеми управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи. Інвестиційний портфель являє собою цілеспрямовано сформовану, відповідно до певної інвестиційної стратегії, сукупність вкладень в інвестиційні об'єкти. Суть портфельного інвестування полягає в доданні сукупності об'єктів інвестування певних інвестиційних якостей, які недосяжні з позиції окремо взятого об'єкта, а можливі лише при їх поєднанні.

Будь-які інвестиційні рішення пов'язані з певними ризиками. Чим більше пропонована за цінним папером прибутковість, тим вищий ризик використання таких фінансових інструментів. Інвестиційний портфель, в якому питома вага кожного з видів активів не є домінуючим, називають диверсифікованим. Такий портфель володіє меншим ступенем ризикованості в порівнянні з окремо взятим цінним папером того ж порядку прибутковості.

На кінцевий фінансовий результат від інвестиційної діяльності впливають безліч випадкових факторів. Істотну роль займає управління інвестиційним портфелем, ключовою метою якого є забезпечення найбільш ефективних шляхів реалізації потенційної інвестиційної стратегії шляхом підбору найбільш ефективних і надійних інвестиційних вкладень [1]. У даній роботі розглядається інвестиційний портфель, що складається з ризикових вкладень (звичайних акцій) і безризикового вкладу (банківського вкладу або надійних облігацій).

Основні підходи до вирішення задачі управління інвестиційним портфелем. Відповідно до класичного підходу, при формуванні портфеля інвестор хоче мінімізувати ризик портфеля та отримати бажану дохідність (в двоїстій постановці – максимізувати прибутковість при обмеженому ризику). Задача оптимізації структури портфеля (визначення оптимальних часток вкладень у різні види активів) вирішується в статичній постановці (одноперіодна модель) та зводиться до вирішення задач квадратичного, стохастичного або лінійного програмування, в залежності від вибору функції ризику і способів обліку невизначеності. У результаті отримують, так звану, «короткозору» стратегію управління портфелем, яка залежить тільки від поточних значень параметрів, що характеризують активи портфеля, незалежно від того будуть змінюватися ці значення в майбутньому чи ні, а також не залежить від поточного значення капіталу портфеля і цін активів [2].

Другий підхід заснований на побудові динамічних моделей інвестиційного портфеля в безперервному часі і використанні методів теорії стохастичного керування для вибору оптимальної структури портфеля. Еволюція портфеля описується стохастичним диференціальним рівнянням в агрегованому вигляді (рівнянням для капіталу портфеля в цілому), в якості керуючих впливів беруться частки вкладень загального капіталу в той чи інший актив. Класична оптимізаційна проблема в динамічній постановці полягає у визначенні стратегії управління портфелем, яка максимізує деяку інтегральну функцію корисності, залежну від рівня поточного споживання і

кінцевого багатства. Зазвичай, такий підхід призводить до чисельного рішення рівнянь динамічного програмування [3].

Постановка задачі. Управління структурою інвестиційного портфеля є однією з основних і найбільш важливих задач в управлінні фінансами та представляє як теоретичний, так і практичний інтерес [2].

З метою мінімізації ризиків, мається інвестиційний портфель, що складається з ризикових вкладів (звичайних акцій) і безризикового вкладу (банківського вкладу) [4]. Управління портфелем складається з двох етапів. Перший етап – знаходження структури ризикової частини портфеля. Другий – розподіл наявного капіталу між ризиковою частиною портфеля та безризиковою.

Структуру ризикової частини портфеля пропонується знаходити на основі портфельної теорії Марковіца, а саме, пошуку портфеля мінімального ризику. При розподілі капіталу між ризиковою та безризиковою частинами портфеля пропонується використовувати управління у формі зворотного зв'язку на основі принципу максимуму Понтрягіна [5].

Пропонується визначати стратегію управління портфелем шляхом розподілу капіталу між різними видами інвестицій так, щоб капітал реального портфеля з мінімально можливими відхиленнями (з мінімально можливим ризиком) слідував капіталу деякого обумовленого інвестором еталонного портфеля із заданою їм прибутковістю на всьому горизонті інвестування.

Інакше кажучи, задачею управління є відстеження бажаної траєкторії зростання капіталу, яка задається інвестором [4]. Наочна схема управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи наведена нижче:



Рис. 2 – Управління структурою інвестиційного портфеля

Знаходження структури ризикової частини інвестиційного портфеля фізичної особи на основі моделі Марковіца.

Початковою інформацією для вибору оптимального портфеля є n ризикових активів, історичний горизонт L , статистичні дані доходності ризикових активів на історичному горизонті, вектор очікуваної прибутковості $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)$ та матриця коваріацій прибутковостей C , елементами якої є коефіцієнти кореляції між прибутковістю ризикових активів.

Елементи вектора очікуваної прибутковості знаходяться за формулою:

$$\mu_i = \frac{\sum_{s=1}^L R_s^i}{L}, i = \overline{1, n},$$

де R_s^i – прибутковість i -го ризикового активу в s -й проміжок часу;
 L – історичний горизонт (довжина ковзного вікна);
 Елементи матриці ковариацій розраховуються наступним чином:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{s=1}^L ((R_s^i - M(R^i)) \cdot (R_s^j - M(R^j)))}{L-1}, i, j = \overline{1, n},$$

де $M(R^i)$ та $M(R^j)$ – середні прибутковості i -го та j -го активів;
 R_s^i та R_s^j – прибутковості i -го та j -го активів в s -й проміжок часу.

Ризикова структура портфеля представляється у вигляді вектора $x = (x_1, \dots, x_n)^T$, де x_i – частка початкового капіталу, інвестованого в i -й актив.

При цьому має виконуватися обмеження $\sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0, i = \overline{1, n}$.

Характеристиками структури ризикової частини інвестиційного портфеля є прибутковість і ризик:

$$E_p = \sum_{i=1}^n \mu_i x_i, V_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i x_j,$$

де C_{ij} – елемент матриці ковариацій, $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}$;

Клас допустимих портфелів визначається додатковими обмеженнями. У моделі Марковіца розглядаються інвестиційні портфелі тільки з невід'ємними компонентами. Ефективна диверсифікація по Марковіцу передбачає таке об'єднання цінних паперів в портфель, яке при заданій прибутковості портфеля забезпечує найменший рівень ризику. Позначимо через x_i – частку вкладень в ризиковий цінний папір i -го виду ($i = 1, \dots, n$), n – кількість паперів у портфелі [6]. Тоді задачу вибору оптимальної структури ризикової частини інвестиційного портфеля можна сформулювати наступним чином: знайти вектор $X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)^T$, де x_i є вкладом в цінний папір i -го виду, що мінімізує дисперсію портфеля:

$$V_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_i x_j \rightarrow \min,$$

за умови, що значення очікуваної прибутковості дорівнює $\sum_{i=1}^n \mu_i x_i = r_0$, де $r_0 \in$

вказане інвестором бажане значення прибутковості портфеля, та сума часток всіх активів, що входять в портфель, повинна дорівнювати одиниці. Таким чином, задача Марковіца представляє собою задачу на умовний екстремум.

Формалізуємо задачу Марковіца в матричній формі: знайти вектор X , такий, що $V_p = X^T C X \rightarrow \min$ при обмеженнях $\mu^T X = r_0$ та $I^T X = 1$. Тут:

- C – коваріаційна матриця розмірністю $n \times n$;
- μ – вектор-стовпець очікуваної прибутковості розмірністю $n \times 1$;
- I – одиничний вектор-стовпець розмірністю $n \times 1$;
- X – вектор-стовпець невідомих часток розмірністю $n \times 1$.

Складемо функцію Лагранжа задачі, яка являє собою суму цільової функції задачі і скалярного добутку вектора множників Лагранжа на вектор різниці між функціями обмежень і постійними обмеженнями. Умовний екстремум задачі Марковіца збігається з безумовним екстремумом спеціально складеної функції Лагранжа. Множники Лагранжа визначають ступінь чутливості оптимального значення цільової функції до змін констант обмежень. Функція Лагранжа задачі має вигляд:

$$L(X, \lambda_1, \lambda_2) = X^T C X + \lambda_1 (\mu^T X - r_0) + \lambda_2 (I^T X - 1),$$

де $X^T C X$ – цільова функція (дисперсія порт.), екстремум якої визначається;
 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2)^T$ – вектор-стовпець множників Лагранжа.

Для визначення безумовного екстремуму функції Лагранжа, її треба продиференціювати по всіх аргументах та прирівняти похідні нулю. Отриману систему рівнянь запишемо в матричній формі та покоординатно:

$$\begin{pmatrix} 2C_{11} & 2C_{12} & \dots & 2C_{1n} & \mu_1 & 1 \\ 2C_{21} & 2C_{22} & \dots & 2C_{2n} & \mu_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 2C_{n1} & 2C_{n2} & \dots & 2C_{nn} & \mu_n & 1 \\ \mu_1 & \mu_2 & \dots & \mu_n & 0 & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ r_0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Матриця отриманої системи має розмірність $(n + 2) \times (n + 2)$ та складається з подматриці ризику, розмірністю $n \times n$; n -мірного стовпця та рядка очікуваних прибутковостей активів; n -мірного одиничного стовпця та рядка; нульової матриці розмірністю 2×2 .

Якщо позначити матрицю отриманої системи через \mathbf{A} (матриця «ризик-прибутковість»), вектор-стовпець невідомих через $\mathbf{X} = (X, \lambda)^T$, вектор правої частини через \mathbf{B} , то треба вирішити систему $\mathbf{AX} = \mathbf{B}$, звідки $\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}$, де \mathbf{A}^{-1} – матриця, обернена по відношенню до квадратної матриці \mathbf{A} .

Дане рішення визначає структуру оптимального портфеля з n видів ризикових цінних паперів, яка реалізує заданий рівень очікуваної прибутковості при мінімальній дисперсії. Після знаходження структури x ризикової частини портфеля, n ризикових активів можна замінити одним еквівалентним активом з очікуваною прибутковістю $x^T \mu$ та ризиком $x^T C x$, а потім вирішувати задачу поділу капіталу між еквівалентним ризиковим активом і безризиковим.

Поділ капіталу між ризиковою та безризиковою частинами інвестиційного портфеля за допомогою принципу максимуму Понтрягіна.

Позначимо через $W(t)$ капітал інвестиційного портфеля в момент t . У кожен момент часу капітал може бути розподілений таким чином: частка капіталу $u(t)$ вкладається в ризиковий актив, частка $1-u(t)$ – в безризиковий актив. Завжди $0 \leq u(t) \leq 1$. Капітал портфеля $W(t)$ [7] задовольняє рівнянню:

$$dW(t) = h(u)W(t)dt + \sigma u(t)W(t)d\omega(t), \quad W(0) = W_0,$$

де W_0 – початковий капітал;

$h(u)$ – тем росту капіталу, дорівнює $(a-r)u + r$;

a – середнє значення прибутковості ризикового активу s ;

σ – волатильність;

$\omega(t)$ – винерівський процес.

Таке рівняння є рівнянням квазілінійного типу, для яких характерно те, що рівняння для перших двох моментів утворюють замкнуту систему [8]. Перші два початкових момента процесу $W(t)$, позначені як $m(t)$ та $M(t)$, задовольняють рівнянням:

$$\dot{m} = h(u), \quad m(0) = W_0 \quad \text{та} \quad \dot{M} = g(u)M, \quad M(0) = W_0^2,$$

Тут $g(u) = 2h(u) + \sigma^2 u^2$ [9].

Якщо управління $u(t)$ задано, то:

$$m(t) = W_0 \exp \int_0^t h(u)dt \quad \text{та} \quad M(t) = W_0^2 \exp \int_0^t g(u)dt = m^2(t) \exp \sigma^2 \int_0^t u^2 dt.$$

Знайдемо таку функцію $u(t)$, при котрій значення $m(T)$ максимально. Тут T – заданий момент часу. Темп зростання середнього капіталу визначається функцією $h(u)$. Управління $u(t)$ дорівнює 0, якщо $r > a$, та 1, якщо $r < a$.

Можлива велика дисперсія значення $W(T)$. Щоб її зменшити при великому $W(t)$ будемо обирати управління $u(t)$ достатньо малим, щоб зменшити випадкову складову в рівнянні капіталу портфеля. Однак при малому a управління $u(t)$ має давати прийнятний результат. На інтервалі часу $[0, T]$ треба знайти таку функцію $u(t)$, при котрій є максимальним значення:

$$J = E\{W(T) - f^*\} = M(T) - 2m(T)f^* + f^{*2},$$

де $E\{\}$ – математичне очікування;

f^* – бажане значення кінцевого капіталу $W(T)$.

Скористаємося принципом максимуму Л.С. Понтрягіна [9]. Введемо допоміжні змінні $p_1(t)$ та $p_2(t)$ і складемо функцію Гамільтона:

$$H(m, M, p_1, p_2, u) = p_1 h(u)m + p_2 g(u)M = H_0 + H_1 u + H_2 u^2,$$

$$H_0 = rs, \quad H_1 = (a - r)s, \quad H_2 = \sigma^2 p_2 M, \quad s = p_1 m + 2p_2 M.$$

Значення змінних $p_1(t)$ та $p_2(t)$ дорівнюють відповідно:

$$p_1(t) = 2f^* \exp \int_t^T h(u) dt \quad \text{та} \quad p_2(t) = -\exp \int_t^T g(u) dt.$$

Якщо не враховувати обмеження $0 \leq u(t) \leq 1$, то максимум функції H по u досягається при:

$$u^*(t) = -\frac{H_1}{2H_2} = -\left(\frac{a-r}{\sigma^2}\right) \frac{s(t)}{2p_1(t)M(t)} = -\left(\frac{a-r}{\sigma^2}\right) \left(\frac{p_1(t)m(t)}{2p_2(t)M(t)} + 1\right).$$

З урахуванням даного обмеження управління $u(t)$ дорівнює 0 при $u^*(t) \leq 0$, $u^*(t)$ при $0 < u^*(t) < 1$ та 1 при $1 \leq u^*(t)$. Управління у формі зворотного зв'язку можна побудувати наступним чином. Значення змінних $m(t)$ та $M(t)$ не вимірюються і не відомі, тому їх можна замінити на поточні значення $W(t)$ та $W^2(t)$, які вимірюються в кожен момент часу. Отримуємо:

$$u^*(t) = (a-r)/\sigma^2 [q(t)/W(t) - 1], \quad q(t) = -\frac{p_1(t)}{2p_2(t)} = f^* \exp \left\{ -\int_t^T (h(u) + \sigma^2 u^2) dt \right\}.$$

Останній вираз і визначає закон управління у формі зворотнього зв'язку.

Розробка програмного забезпечення для вирішення поставленої задачі. Вирішення поставленої задачі являє собою трудомісткий з точки зору обчислень процес. Отже, така задача не може бути вирішена без використання сучасних інформаційних технологій. Для вирішення поставленої задачі необхідно розробити базу даних, програмні засоби для роботи з розробленою базою даних, та програмні засоби, що реалізують відповідне математичне та алгоритмічне забезпечення. Базу даних було реалізовано згідно з розробленою моделлю даних (рис. 3).

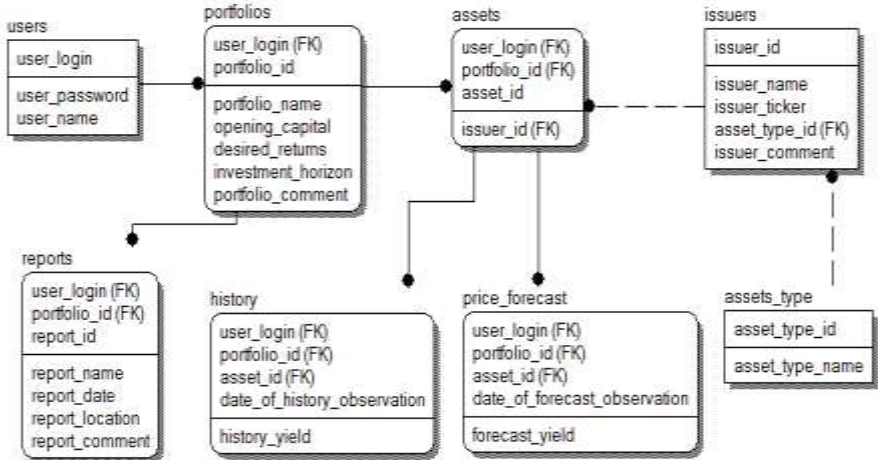


Рис. 3 – Модель даних

Для реалізації бази даних було використано систему управління базами даних MySQL. Програмне забезпечення розроблено за допомогою мови програмування PHP та веб-серверу Apache. Основною перевагою використання розробленого веб-додатку є відсутність необхідності встановлення додаткового клієнтського програмного забезпечення на комп'ютер користувача – достатньо мати звичайний веб-браузер.

Контрольні розрахунки та аналіз отриманих результатів.

Розглядається задача управління структурою інвестиційного портфеля з початковим та бажаним капіталом 10000 у.о. та 13000 у.о. відповідно. До портфеля входять банківський вклад з прибутковістю 16% та три ризикові активи, серед яких акції компаній «Донбассенерго», «Райффайзен Банк Аваль», «Центрэнерго». Історичний горизонт (довжина ковзного вікна) – 35 торгових днів. Інвестиційний період – 1 рік (252 торгові дні).

Нижче наведена динаміка цін акцій «Донбассенерго», «Райффайзен Банк Аваль» та «Центрэнерго» протягом року.

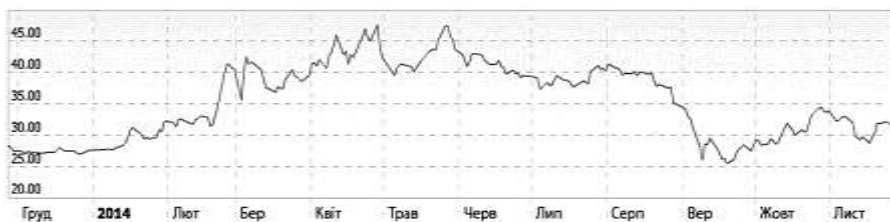


Рис. 4 – Динаміка ціни акцій «Донбассенерго»

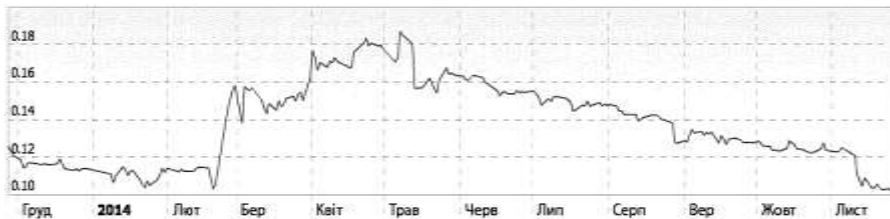


Рис. 5 – Динаміка ціни акцій «Райффайзен Банк Аваль»

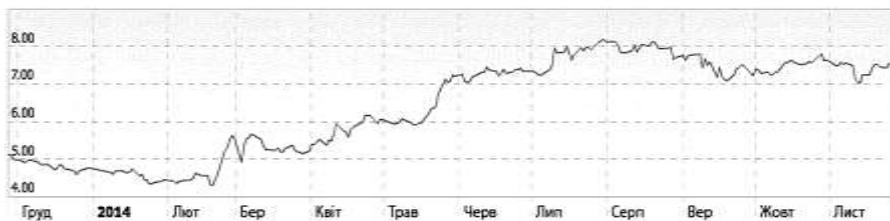


Рис. 6 – Динаміка ціни акцій «Центрэнерго»

Структура ризикової частини портфеля знаходиться на основі моделі Марковіца шляхом мінімізації дисперсії (ризик) портфеля. Для поділу капіталу між ризиковою та безризиковою частинами інвестиційного портфеля застосовується принцип максимуму Понтрягіна. Нижче наведена динаміка зміни величини капіталу інвестиційного портфеля протягом року.

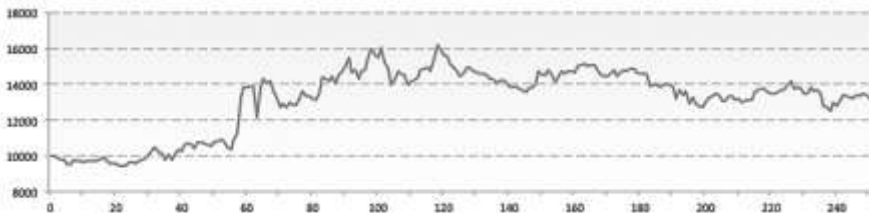


Рис. 7 – Динаміка капіталу інвестиційного портфеля протягом року

Висновки. У представленій роботі було розглянуто процедуру рішення задачі управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи. Для вирішення поставленої задачі було розроблено математичне та алгоритмічне забезпечення, програмні засоби для його реалізації. Розглянута одна з основних портфельних теорій – модель Марковіца, яка є фундаментальною у теорії портфельних інвестицій і застосовується при знаходженні структури ризикової частини портфеля. При розподілі капіталу між ризикової і безризиковою частинами портфеля використовується управління у формі зворотного зв'язку на основі принципу максимуму Понтрягіна. За допомогою розробленого програмного забезпечення були проведені контрольні розрахунки задачі управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи. На основі аналізу результатів розрахунків, отриманих за допомогою розробленого програмного забезпечення, були сформовані рекомендації щодо дій інвестора протягом усього горизонту інвестування.

Список літератури: 1. Игонина Л. Л. Инвестиции. – М. : Экономистъ, 2005. – 478 с. 2. Герасимов Е. С. Многомерные динамические сетевые модели управления инвестиционным портфелем. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2005. – 210 с. 3. Домбровский В. В. Динамическое управление инвестиционным портфелем в пространстве состояний с использованием рыночной модели / В. В. Домбровский, Д. В. Домбровский. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2003. – 45 с. 4. Домбровский В. В. Динамическая оптимизация инвестиционного портфеля при ограничениях на объемы вложений в финансовые активы / В. В. Домбровский, Д. В. Домбровский, Е. А. Ляшенко. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2008. – 25 с. 5. Параев Ю. И. Исследование инвестиционных стратегий управления портфелем ценных бумаг / Ю. И. Параев, С. А. Цветницкая. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2009. – 34 с. 6. Касимов Ю. Ф. Введение в теорию оптимального портфеля ценных бумаг. – М. : Анкил, 2005. – 144 с. 7. Merton R. Continuous-time finance. – Cambr. MA. Blackwell, 1990. – 700 с. 8. Параев Ю. И. Введение в статистическую динамику процессов управления и фильтрации. – М. : Сов. радио, 1976. – 178 с. 9. Параев Ю. И. Управление инвестиционным портфелем / Ю. И. Параев, С. А. Цветницкая. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2004. – 77 с.

Bibliography (transliterated): 1. Igonina, L. L. *Investitsii*. Moscow: Ekonomist', 2005. Print. 2. Gerasimov, E. S. *Mnogomernyye dinamicheskie setevyye modeli upravleniya investitsionnyim portfelem*. Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2005. Print. 3. Dombrovskiy, V. V., and D. V. Dombrovskiy. *Dinamicheskoe upravlenie investitsionnyim portfelem v prostranstve sostoyaniy s ispolzovaniem rynochnoy modeli*. Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2003. Print. 4. Dombrovskiy, V. V., D. V. Dombrovskiy, and E. A. Lyashenko. *Dinamicheskaya optimizatsiya investitsionnogo portfelya pri ogranicheniyah na ob'emy vlozheniy v finansovyye aktivyyi*. Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2008. Print. 5. Paraev, Y. I., and S. A. Tsvetnitskaya. *Issledovanie investitsionnykh strategiy upravleniya portfelem tsennykh bumag*. Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2009. Print. 6. Kasimov, Y. F. *Vvedenie v teoriyu optimal'nogo portfelya tsennykh bumag*. Moscow: Ankil, 2005. Print. 7. Merton, R. *Continuous-time finance*. Cambr. MA. Blackwell, 1990. Print. 8. Paraev, Y. I. *Vvedenie v statisticheskuyu dinamiku protsessov upravleniya i filtratsii*. Moscow: Sov. radio, 1976. Print. 9. Paraev, Y. I., and S. A. Tsvetnitskaya. *Upravlenie investitsionnyim portfelem*. Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2004. Print.

Надійшла (received) 27.11.2014

О. Є. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, професор НТУ «ХПІ»;
Р. А. СКРИПЧЕНКО, студент НТУ «ХПІ»

ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ЯК ПІДХІД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ФІНАНСОВОГО СТАНУ, В ЯКОМУ ВОНО ПЕРЕБУВАЄ

Пропонується діагностування стану підприємства як підхід для визначення його фінансового стану, для представлення існуючої інформації у більш наглядному вигляді, на основі аналізу значень планових та фактичних показників та подальшого визначення плану функціонування підприємства. Для визначення стану підприємства пропонується використовувати технології роботи з неточною інформацією за допомогою нейронних мереж.

Ключові слова: діагностування, фінансовий стан, підприємство, розпізнавання образів, нейронна мережа.

Вступ. У наш час характерним проявом для більшості українських компаній є феномен неспроможності. Подібне положення викликане такими причинами, як взаємна неплатоспроможність, відсутність замовлень на виробництво продукції, низька ліквідність активів, відсутність конкурентоспроможної продукції, а також паралельно із цим високі процентні ставки по кредитах, податках, недостатня увага органів керування макро- і мезо- рівнів до проблем підприємств і безліч інших факторів, що виявляють несприятливий вплив на фінансово-економічне положення господарюючих суб'єктів і провокуючих розвиток різних по природі кризові явища. Одним з основних показників підприємств слід уважати його фінансовий стан, який, по суті, відбиває кінцеві результати діяльності та є найважливішою характеристикою його ділової активності й надійності, дає характеристику фінансової конкурентоспроможності, платоспроможності, кредитоспроможності, інформацію про виконання зобов'язань перед державою й іншими господарюючими на ринку суб'єктами. Діагностування стану підприємства дозволяє менеджерам установити наявність на підприємстві симптомів або ознак економічної кризи. У випадку якщо такі виявлені, то чи має підприємство шанс локалізувати кризові явища, і якщо має, то визначити основні напрямки заходів для їхнього запобігання й висновку підприємства з комутантного стану.

Загальні положення нейромережевої технології в діагностуванні. У наш час має широке місце поява, на вітчизняному ринку комп'ютерів і програмного забезпечення, нейропакетів і нейрокомп'ютерів, призначених для рішення фінансових задач. Ті банки й великі фінансові організації, які вже використовують нейронні мережі для рішення своїх задач, розуміють, наскільки ефективним засобом можуть бути нейронні мережі для задач із статистичною базою. Нейромережеві технології оперують біологічними

термінами, а методи обробки даних одержали назву генетичних алгоритмів, реалізованих у ряді версій нейропакетів. Це професійні нейропакети, у яких генетичний алгоритм управляє процесом спілкування на деякій безлічі прикладів, а також стабільно розпізнає й прогнозує нові ситуації з високим ступенем точності навіть із появою суперечливих або неповних знань. Причому навчання зводиться до роботи алгоритму добору вагових коефіцієнтів, який реалізується автоматично без участі користувача-аналітика. Усі результати обробки представляються у вигляді, зручному для аналізу й прийняття рішень. Використання нейромережових технологій, як інструментальних засобів, перспективно при рішенні безлічі погано формалізованих задач, зокрема при діагностуванні фінансової й банківської діяльності, біржових, фондових і валютних ринків, пов'язаних з високими ризиками моделей поведінки клієнтів, та інші. Точність прогнозу, що стійко досягається нейромережовими технологіями при розв'язку реальних задач, вже перевищила 95%. На світовому ринку нейромережові технології представлені широко – від дорогих систем на суперкомп'ютерах до персональних комп'ютерів, роблячи їх доступними для додатків практично будь-якого рівня.

До основних переваг нейронних мереж можна віднести:

- здатність навчатися на множині прикладів у тих випадках, коли невідомі закономірності розвитку ситуації й функції залежності між вхідними й вихідними даними;
- здатність успішно вирішувати задачі, опираючись на неповну, переверну й внутрішньо суперечливу вхідну інформацію;
- експлуатація навченої нейронної мережі під силу будь-яким користувачам;
- нейромережові пакети дозволяють винятково легко підключатися до баз даних, електронної пошти й автоматизувати процес вводу й первинної обробки даних;
- внутрішній паралелізм, властивий нейронним мережам, дозволяє практично безмежно нарощувати потужність нейросистеми, тобто надвисока швидкодія за рахунок використання масового паралелізму обробки інформації;
- толерантність до помилок;
- здатність до навчання;
- здатність до розпізнавання образів в умовах сильних перешкод і викривлень.

Структура нейронної мережі. Структура нейронних мереж досить різноманітна. Більші й складні нейронні мережі володіють, як правило, і більшими обчислювальними можливостями. Хоча були створені мережі всіх конфігурацій, які тільки можна собі представити, пошарова організація нейронів копіює шаруваті структури певних відділів мозку. Виявилось, що

такі багатошарові мережі мають більші можливості, аніж одношарові, і в останні роки були розроблені алгоритми для їхнього навчання. Багатошарові мережі можуть утворюватися каскадами шарів. Вихід одного шару є входом для наступного шару (рис 1).

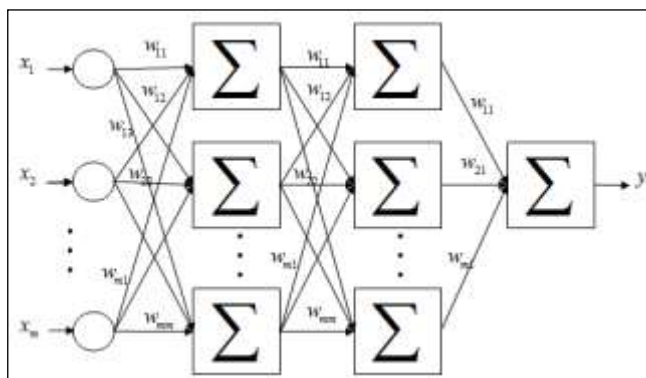


Рис. 1 – Багатошарова нейронна мережа

Хоча були розглянуті різноманітні конфігурації нейронних мереж, жодна з них не виявилася універсальною. При виборі багатошарової нейронної мережі необхідно проводити аналіз ефективного використання обраної нейронної мережі та порівняння з іншими мережами, які мають іншу структуру. Це зумовлено тим, що не існує чітких правил, що регламентують вибір тієї чи іншої структури нейронної мережі. Слід зазначити, що існує певна безліч різноманітних нейронних мереж, що можуть навчатися з вчителем, або без вчителя, що можуть використовувати отриманні результати для корегування своїх результатів та інші. Отже, в основі розробленого математичного забезпечення виступає звичайна багатошарова нейронна мережа. Штучний нейрон імітує в першому наближенні властивості біологічного нейрона. На вхід штучного нейрона надходить деяка множина сигналів, кожний з яких є виходом іншого нейрона. Кожний вхід множиться на відповідну вагу, аналогічний синаптичній силі, і всі добутки підсумовуються, визначаючи рівень активації нейрона. Хоча мережні парадигми досить різноманітні, в основі майже всіх їх лежить ця конфігурація. Тут множина вхідних сигналів, надходить на штучний нейрон. Ці вхідні сигнали відповідають сигналам, що приходять у синапси біологічного нейрона. Кожен сигнал множиться на відповідну вагу і надходить на підсумовуючий блок. Кожна вага відповідає силі однієї біологічної синаптичної зв'язки. Підсумовуючий блок, відповідний до тіла біологічного елемента, складає зважені входи алгебраїчно, створюючи вихід, який ми будемо називати *NET*. Сигнал *NET* далі перетворюється активаційною функцією F й дає вихідний нейронний сигнал *OUT* (рис. 2).

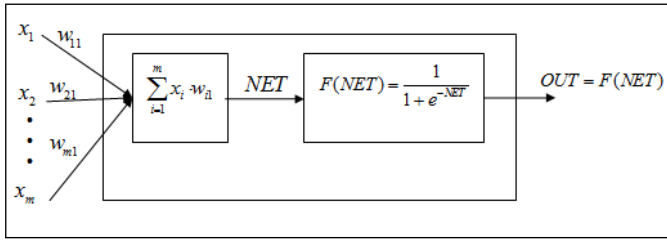


Рис. 2 – Штучний нейрон з активаційною функцією

Якщо блок F звужує діапазон зміни величини NET так, що при будь-яких значеннях NET значення OUT належать деякому кінцевому інтервалу, то F називається функцією активації. У якості функції активації можуть використовуватися різноманітні функції. Але найчастіше використовується сигмоїдальна функція. Введення функцій сигмоїдального типу було обумовлене обмеженістю нейронних мереж із пороговою функцією активації нейронів – за такої функції активації будь-який із виходів мережі дорівнює або нулю, або одиниці, що обмежує використання мереж не в задачах класифікації. Використання сигмоїдальних функцій дозволило перейти від бінарних виходів нейрона до аналогових. Функції передачі такого типу, як правило, властиві нейронам, що знаходяться у внутрішніх шарах нейронної мережі (рис. 3).

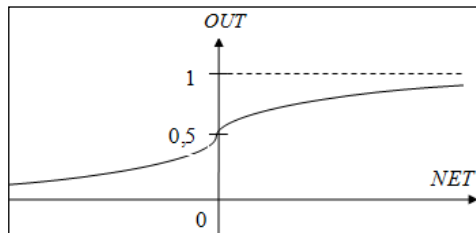


Рис. 3 – Сигмоїдальна логістична функція

Ця функція математично виражається наступним чином:

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Постановка задачі. У сучасному етапі економічного розвитку часто виникає питання про прийняття управлінських рішень. Менеджеру надається інформація про підприємство, на підставі якої він приймає певне рішення. Даний вид прийняття рішень можна віднести до інтуїтивного, що вимагає високої кваліфікації та чималого досвіду. Без інтуїтивного методу в керуванні не обійтися, але використовувати його при великій кількості варіантів може

привести до кризового стану підприємства, часом навіть до її ліквідації. Отже, необхідно надавати працівникові підприємства вже оброблену інформацію, з якої видні всі наслідки. При обробці великого об'єму інформації, завдання стає усе більш складнішим. Отже, воно не може бути вирішено без використання сучасних інформаційних технологій. Дана проблема визначає актуальність задачі діагностування стану підприємства. Рішення поставленої задачі пропонується шляхом використання нейромережевих технологій.

Математичне та алгоритмічне забезпечення вирішення поставленої задачі. Згідно до запропонованого підходу, була обрана тришарова нейронна мережа. Для того, щоб обрана нейронна мережа функціонувала, необхідно її навчити. В якості алгоритму використовується алгоритм зворотного поширення помилки. Метою навчання мережі є таке підстроювання її ваг, щоб додаток деякої множини входів приводив до необхідної множини виходів. При навчанні передбачається, що для кожного вхідного вектора існує парний йому цільовий вектор, що задає необхідний вихід. Разом вони становлять навчальну пару. Мережа навчається на багатьох парах, які розробляються експертами, які мають певний професіональний досвід у рішенні даного роду задач. Перед початком процедури навчання необхідно пронормувати змінні за допомогою наступної формули:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{R},$$

$$R = \max |x_{ij} - \bar{x}_i|,$$

$$i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}$$

де \bar{x}_i – середньоарифметичне значення i -го показника;

x_{ij} – j -те значення i -го показника;

R – масштаб, що характеризує максимальний розкид у множині даних;

m – кількість показників;

n – кількість навчальних пар.

Коли всі змінні пронормовані необхідно задати початкові значення ваг, а потім переходити до процесу навчання нейронної мережі. Навчання мережі зворотного поширення вимагає виконання наступних операцій:

- вибрати чергову навчальну пару $\langle \bar{x}, y \rangle$ та подати на вхід мережі;
- обчислити вихід мережі t ;
- обчислити різницю між виходом мережі й необхідним виходом:

$$|y - t| \leq \varepsilon$$

- корегувати ваги мережі так, щоб мінімізувати помилку:

$$w_{ij} = w_{ij} + \Delta w_{ij}$$

$$\Delta w_{ij} = \eta \cdot \delta \cdot t$$

$$\delta = y \cdot (1 - y) \cdot (t - y)$$

Повторювати кроки з 1 по 4 для кожного вектора навчальної множини доти, поки помилка на всій множині не досягне прийнятного рівня. Операції, виконувані кроками 1 і 2, подібні з тими, які виконуються при функціонуванні вже навченої мережі, тобто подається вхідний вектор і обчислюється вихід, що виходить. Обчислення виконуються пошарово. На кроці 3 кожний з виходів мережі віднімається з відповідного компонента цільового вектора, щоб одержати помилку. Ця помилка використовується на кроці 4 для корекції ваг мережі, причому знак і величина змін ваг визначаються алгоритмом навчання. Після достатнього числа повторень цих чотирьох кроків різниця між дійсними виходами й цільовими виходами повинна зменшитися до прийнятної величини, при цьому говорять, що мережа навчилася. Тепер мережа використовується для розпізнавання й ваги не змінюються. На кроки 1 і 2 можна дивитися як на «прохід уперед», тому що сигнал поширюється по мережі від входу до виходу. Кроки 3, 4 складають «зворотний прохід», тут обчислюється сигнал помилки, який розповсюджується назад по мережі й використовується для підстроювання ваг. Всі кроки алгоритму необхідно повторювати декілька разів, для покращення процесу навчання нейронної мережі.

Розробка програмного забезпечення для вирішення поставленої задачі. Вирішення поставленої задачі являє собою трудомісткий процес роботи з великим масивом даних, які мають суперечливий характер. Отже, така задача не може бути вирішена без використання сучасних інформаційних технологій. Для вирішення поставленої задачі необхідно розробити програмні засоби для роботи з даними, які зберігаються у відповідній базі даних, та програмні засоби, що реалізують відповідне математичне та алгоритмічне забезпечення для проведення діагностування стану підприємства. Програмне забезпечення має широкий функціонал роботи з файлами, та можливості роботи з ріноманітними форматами документів, які містять вхідну інформацію представлену у формах відповідних звітів, необхідну для рішення поставленої задачі. Для забезпечення збереження інформації, а також її подальше використання, була розроблена база даних, яка містить різноманітні звіти, що складаються із параметрів підприємства, стану, в якому воно перебуває, що може бути визначено за допомогою програми, або встановлено експертами. Інформація експертів використовується для навчання нейронної мережі. Також була розроблена модель даних, яка відображає створену базу даних (рис. 4).

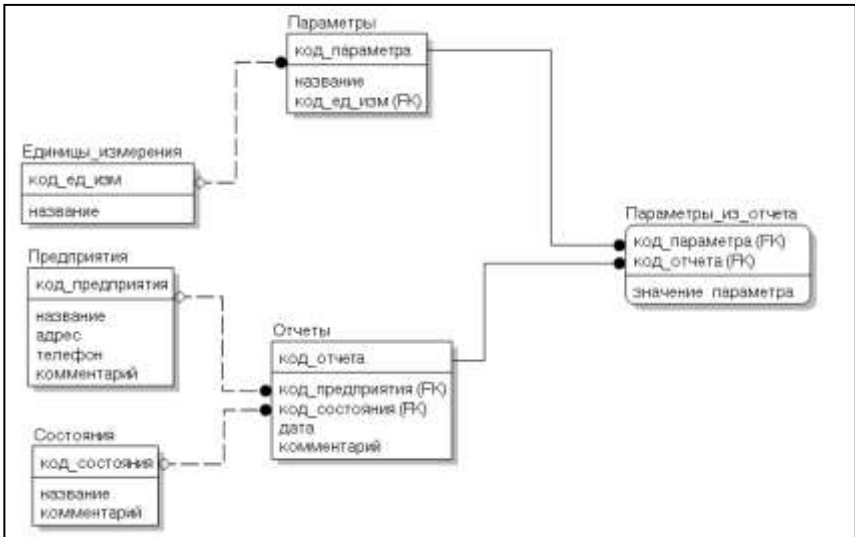


Рис. 4 – Модель даних

Для реалізації бази даних було використано систему управління базами даних MS SQL Server. Програмне забезпечення розроблене на платформі .NET 4.5 за допомогою мови програмування C#, а також з використанням технології створення форм Windows Forms. Для забезпечення роботи з даними використовується інструмент Entity Framework. В якості моделі розробки програмного забезпечення використовується водоспадна модель життєвого циклу (рис. 5).

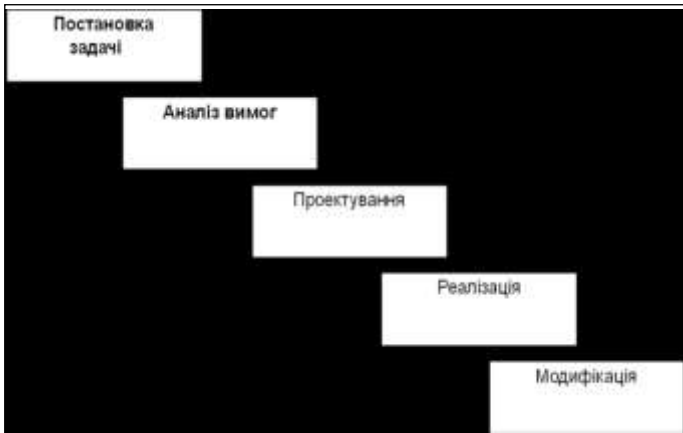


Рис. 5 – Водоспадна модель життєвого циклу

Контрольні розрахунки та аналіз отриманих результатів. Перед розглядом даного розділу введемо наступні позначення:

x_1 – коефіцієнт поточної платоспроможності;

x_2 – коефіцієнт абсолютної ліквідності;

x_3 – коефіцієнт автономії;

x_4 – коефіцієнт фінансової залежності;

x_5 – коефіцієнт оборотності;

x_6 – фондвіддача;

x_7 – рентабельність активів;

x_8 – рентабельність реалізації;

x_9 – темп росту капіталу;

x_{10} – коефіцієнт маневреності.

Ці показники мають певні діапазони значення. Результати розподілу діапазонів для кожного показника визначають контроль над результатами розрахунків. В якості вхідних даних для вирішення задачі використовується інформація про об'єкт, яка заздалегідь була занесена в базу даних. В якості об'єкта оберемо підприємство ООО «Мегас». Оскільки дані про стан підприємства є комерційною таємницею і відповідно засекречені, то в наступних прикладах будемо використовувати наближенні дані, які можна буде замінити реальними даними при введенні програмного забезпечення в експлуатацію. Відповідні до них показники наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати роботи програми

Показники	Набір 1	Набір 2	Набір 3	Набір 4	Набір 5
1	2	3	4	5	6
x_1	3,71	2,67	1,98	0,89	0,18
x_2	0,8	0,8	0,21	0,16	0,1
x_3	0,71	0,93	0,49	0,31	0,31
x_4	0,62	0,77	0,54	0,77	0,25
x_5	0,93	0,13	0,66	0,12	0,11
x_6	4,8	1,2	2,2	0,68	1,0

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
x_7	0,17	0,5	0,01	0,17	-0,11
x_8	0,2	0,8	0,02	-0,2	-0,13
x_9	3,31	2,4	0,94	2,1	0,1
x_{10}	0,74	1,1	0,3	1,0	0,04
y	0,9813	0,8594	0,4914	0,303	0,009
Клас	8	17	64	13	33

В залежності від y та за допомогою бази даних було визначено, до якого класу стану належить підприємство.

Висновки. У представленій роботі було розглянуто діагностування стану підприємства. Для вирішення поставленої задачі було розроблено математичне та алгоритмічне забезпечення, програмні засоби, що реалізують математичне та алгоритмічне забезпечення. За допомогою розробленого програмного забезпечення були проведені розрахунки та отримані результати. На основі отриманих результатів можливо виявити клас стану, в якому перебуває підприємство.

Список літератури: 1. *Баканов М. И.* Теория экономического анализа. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 478 с. 2. *Еремин Д. М.* Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2005. – 210 с. 3. *Ковалев В. В.* Финансовый анализ. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2003. – 45 с. 4. *Гонсалес Д. Р.* Принципы распознавания образов / В. Г. Буч, Г. А. Рамбо. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 2008. – 25 с. 5. *Merton R.* Continuous-time finance. – Cambr. MA. Blackwell, 1990. – 500 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Bakanov, M. I.* *Teoriya ekonomicheskogo analiza.* Moscow: Finansi i statistika, 2004. Print. 2. *Eremin, D. M.* *Isskustvennyie neyronnie seti v intellektualnyih sistemah upravleniya.* Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2005. Print. 3. *Kovalev, V. V.* *Finansoviy analiz.* Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2003. Print. 4. *Gonsales, D. R., V. G. Bych and G. A. Rambo.* *Teoriya raspoznaniya obrazov.* Tomsk: Publishing of Tomsk State Univ., 2008. Print. 5. *Merton, R.* *Continuous-time finance.* Cambr. MA. Blackwell, 1990. Print.

Надійшла (received) 09.12.2014

С. В. КОВАЛЕНКО, старший преподаватель НТУ «ХПИ»;
В. И. ТОВАЖНЯНСКИЙ, аспирант НТУ «ХПИ»

ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

Целью настоящей статьи является сравнительный анализ различных по структуре САУ теплоснабжением. В статье предлагается простейшая тепловая, электрическая и математическая модели теплоснабжения, а также структурная схема комбинированной САУ, позволяющие путем соответствующего изменения некоторых параметров модели, анализировать широкую гамму регуляторов и провести их сравнение между собой. Сравнительный анализ различных вариантов структур регуляторов подтвердил существенное уменьшение времени переходных процессов при использовании комбинированного принципа управления теплоснабжением.

Ключевые слова: теплоснабжение, автоматическое управление, индивидуальный тепловой пункт, электрическая и математическая модели, переходные процессы.

Введение. Теплоснабжение зданий является одним из основных процессов в жилищно-коммунальной сфере. В подавляющем большинстве случаев этот процесс на абонентском конце неуправляем. Управление отпуском тепла осуществляется качественным регулированием температуры теплоносителя теплогенерирующим предприятием по погодному графику. Особенностью этого процесса является наличие двух взаимосвязанных критериев характеризующих качество теплоснабжения. Первый критерий – это обеспечение требуемой комфортности т.е. поддержание стабильной комфортной температуры внутреннего воздуха. Второй критерий – тепловая экономичность. Так [1], снижение температуры помещения вследствие погодных или каких-либо технических возмущений приводит к необходимости повышать тепловую мощность за счет подключения дополнительных источников тепла, а повышение температуры компенсируется принудительной вентиляцией помещений. Кроме того качественное регулирование отпуска теплоты никак не учитывает статических и тем более динамических характеристик отдельных зданий, входящих в отопительный район, что приводит к существенному разбросу температур и расходов теплоты различными зданиями. Выходом из этой ситуации является широкое внедрение автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (ИТП). Основной целью ИТП является автоматическое поддержание комфортной температуры внутреннего воздуха здания в не зависимости от возмущений погодных условий, а также возмущений параметров теплоносителя.

Обзор литературы. Проблема автоматического управления теплоснабжением с одной стороны имеет многолетнюю историю и ее основные положения изложены в [2, 3]. Несмотря на глубокий и всесторонний анализ ос-

новых задач, составляющих проблему автоматизации теплоснабжения, в этих работах рассматривается в основном квазистатическая модель тепловых процессов здания. Динамические характеристики здания появляются в работах [4, 5]. В работе [6] внешнее ограждение рассматривается как система, состоящая из слоев с сосредоточенными параметрами. Это позволяет описывать тепловой процесс в здании в виде системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений, что значительно упрощает процедуру синтеза параметров системы автоматического управления (САУ) теплоснабжением. В работе [7] отмечается, что наиболее перспективным принципом управления температурой внутреннего воздуха является комбинированный, когда в структуру САУ вводится канал компенсации основного возмущения температуры наружного воздуха, а сигнал управления по отклонению температуры помещения от ее комфортного значения используется в качестве стабилизирующего управления, поддерживающего требуемую температуру внутреннего воздуха.

Постановка задачи исследования. Как было отмечено выше, комбинированная САУ теплоснабжением предположительно должна обеспечить наилучшее качество процесса стабилизации температуры внутреннего воздуха. В то же время, какие-либо конкретные сравнительные характеристики качества процесса регулирования температуры внутреннего воздуха для различных структур САУ теплоснабжения отсутствуют. Ниже будет проведено упрощенное сравнительное исследование переходных процессов в САУ температурой внутреннего воздуха при различных структурных схемах системы управления.

Математическая модель теплового процесса здания. Воспользуемся подходом, изложенным в [6]. Этот подход предполагает конечномерную аппроксимацию распределенного процесса распространения тепла через внешнее ограждение. Там же показано, что с достаточной степенью точности можно ограничиться одномерной аппроксимацией. Предполагая, что помещение имеет форму параллелепипеда с одинаковыми по толщине гранями, упрощенную электрическую аналогию можно представить в виде, изображенном на рис. 1.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:

R – тепловое сопротивление половины толщины стены;

C – тепловая емкость стены здания; (величины R и C отнесены к единице площади поверхности);

$C_{в}$ – теплоемкость внутреннего воздуха, которой в дальнейшем будем пренебрегать в связи с большим различием плотностей воздуха и материала ограждения;

T , $T_{в}$, T_{oc} – температуры стены, внутреннего и внешнего воздуха, соответственно, выраженные в °C ;

Q – регулируемая мощность источника тепла.

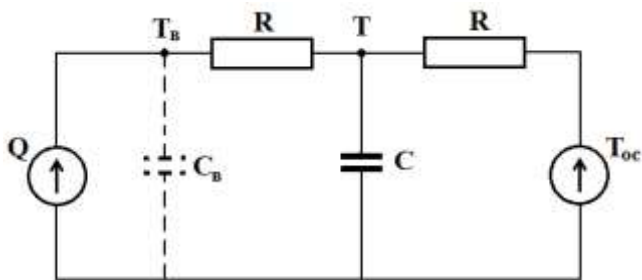


Рис. 1 – Электрическая аналогия теплового процесса здания

Запишем уравнение 1-го закона Кирхгофа для узлов T и T_g :

$$C \frac{dT}{dt} = \frac{T_g - T}{R} - \frac{T - T_{oc}}{R}, \quad (1)$$

$$Q = \frac{T_g - T}{R}.$$

После ряда преобразований система (1) примет следующий вид

$$\tau \frac{dT}{dt} = -T + RQ + T_{oc}, \quad (2)$$

$$T_g = RQ + T,$$

где $\tau = RC$ – постоянная времени здания.

Если теперь ввести безразмерное время ϑ в соответствии с соотношением $t = \tau\vartheta$, а в качестве управляющей переменной q рассматривать величину $RQ = q$, то окончательно, упрощенная математическая модель теплового процесса отапливаемого здания примет вид

$$\dot{T} = -T + q + T_{oc}, \quad (3)$$

$$T_g = T + q.$$

Согласно терминологии, принятой в теории управления, первое из уравнений (3) представляет собой уравнение состояния, а второе – уравнение выхода; T – переменная состояния, T_g – выходная переменная, q – управления, T_{oc} – измеряемое возмущение.

Структурная схема комбинированной САУ теплоснабжением. Общий вид структурной схемы комбинированной САУ изображен на рис. 2.

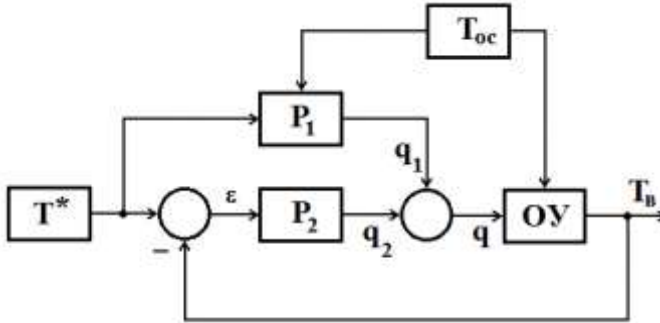


Рис. 2 – Структурная схема комбинированной САУ

На рис. 2 приняты такие обозначения:

P_1 – регулятор-компенсатор прямого действия,

P_2 – регулятор замкнутого контура управления по отклонению температуры внутреннего воздуха от комфортного значения T^* ;

q_1 и q_2 – тепловые потоки, вырабатываемые регуляторами P_1 и P_2 соответственно;

$OУ$ – объект управления, описываемой математической моделью (3).

Математическая модель комбинированной САУ. В соответствии со структурной схемой рис. 2 и математической моделью объекта управления (3) выведем систему дифференциальных уравнений комбинированной САУ теплоснабжением, выбрав в качестве регулятора P_2 ПИ-регулятор.

$$\begin{aligned} \dot{T} + T &= (q_1 + q_2) + T_{oc}, \\ T_g &= T + (q_1 + q_2), \\ q_2 &= K(T^* - T_g) + J \int_0^g (T^* - T_g) dt, \\ q_1 &= K_{II}(T^* - T_{oc}) \end{aligned} \quad (4)$$

Последнее соотношение получено на основе первых двух уравнений системы (3) в предположении $q_2 = 0$ и стационарности процесса ($\dot{T} = 0$).

Полученное значение q_2 при $K_{II} = 0,5$ по сути является равновесным для системы (4) при использовании только управления по возмущающему воздействию.

Переходя к операторной форме записи, и исключая переменную T , нетрудно получить дифференциальное уравнение, связывающее T_g с величинами задания T^* и температуры окружающей среды T_{oc} :

$$\begin{aligned} & [(1+K)P^2 + (1+2K+J)P + 2J]T_g = \\ & = [(K+K_{II})P^2 + [2(K+K_{II})+J]P + 2J]T^* - [K_{II}P^2 - (1-2K_{II})P]T_{oc}. \end{aligned} \quad (5)$$

Полученное дифференциальное уравнение в операторной форме (5), позволяет анализировать переходные процессы в САУ теплоснабжением как по задающему воздействию T^* так и по возмущающему – T_{oc} . Кроме того, выбирая коэффициенты K_{II} , K , J соответствующим образом, можно исследовать переходные процессы для различных типов регуляторов, включая регуляторы прямого действия, по отклонению, комбинированные, а также регуляторы P_2 , функционирующие как П-, И- или ПИ-регуляторы.

Для вычисления тепловой мощности и расхода теплоты воспользуемся соотношениями (3). Из второго уравнения (3) следует

$$q = T_g - T, \quad (6)$$

а из первого, с учетом (6), следует

$$\dot{T} = -2T + T_g + T_{oc}. \quad (7)$$

Подставляя результат интегрирования уравнения (5), (7) и интегрируя (7), получим температуру ограждения $T(t)$, и далее из (6) величину тепловой мощности. Расход теплоты \bar{Q} находится по формуле

$$\bar{Q}(g) = \int_0^g q(s) ds. \quad (8)$$

Результаты численного моделирования. На рис. 3, $a-z$, и рис. 4, $a-z$, представлены результаты численного моделирования переходных процессов САУ теплоснабжением по задающему и возмущающему воздействиям для различных регуляторов.

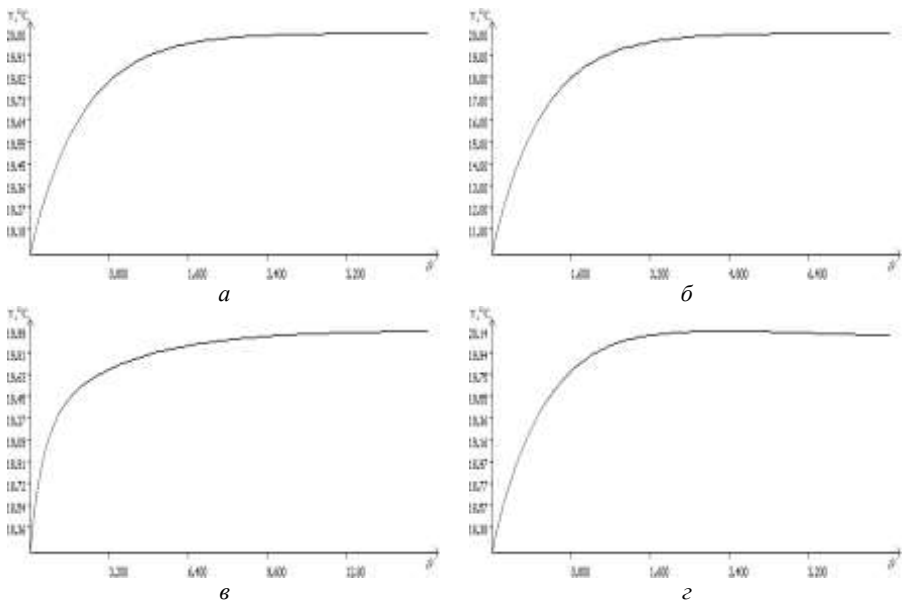


Рис. 3 – Переходные процессы по задающему воздействию для: *а* – П-регулятора и компенсатора; *б* – компенсатора; *в* – ПИ-регулятора; *г* – ПИ-регулятора и компенсатора

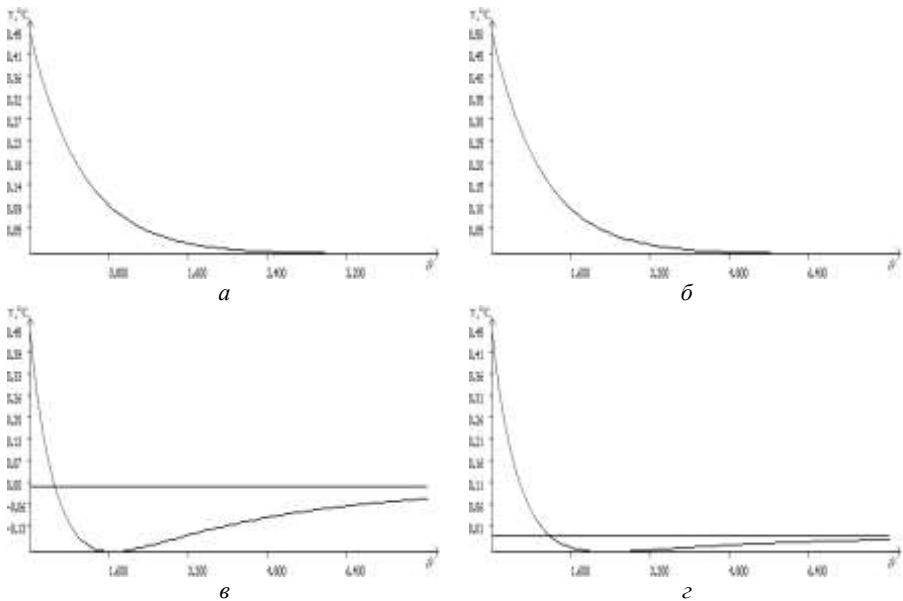


Рис. 4 – Переходные процессы по возмущающему воздействию для: *а* – П-регулятора и компенсатора; *б* – компенсатора; *в* – ПИ-регулятора; *г* – ПИ-регулятора и компенсатора

Выводы. Полученные численные результаты позволяют сделать заключение о существенном улучшении переходных процессов для комбинированных систем управления. Особенно следует выделить структуру САУ, состоящую из П-регулятора и компенсатора, позволяющую получить апериодические переходные процессы как по задающему, так и по возмущающему воздействиям.

Список литературы: 1. *Вороновский Г. К.* Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / *Г. К. Вороновский.* – Х.: Изд-во «Харьков», 2002. – 240 с. 2. *Чистович С. А.* Автоматизация установок и систем теплоснабжения и отопления / *С. А. Чистович* - Л.: Стройиздат. – 1975. – 159 с. 3. *Сафонов А. П.* Автоматизация систем централизованного теплоснабжения / *А. П. Сафонов* – М.: Энергия. – 1974. – 273 с. 4. *Табунщиков Ю. А.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / *Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач.* – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с. 5. *Панферов В. И.* К теории математического моделирования теплового режима зданий / *В. И. Панферов, Е. Ю. Анисимова, А. Н. Нагорная* // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2006. № 14, вып. 4. – С. 128–132. 6. *Куценко А. С.* Системный подход к математическому моделированию тепловых процессов зданий / *А. С. Куценко, С. В. Коваленко, В. И. Товажнянский* // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014 – №4/4(70). – С. 9–12. 7. *Панферов В. И.* Некоторые проблемы энергоснабжения и автоматизации в системах теплоснабжения зданий / *С. В. Панферов, А. И. Теленик, В. И. Панферов* // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2010. - № 22, вып. 12 – С. 79–86.

Bibliography (transliterated): 1. *Voronovsky, G. K.* *Usovershenstvovaniye praktiki operativnogo upravleniya krupnymi teplofikatsionnymi sistemami v novykh ekonomicheskikh usloviyakh.* Kharkov: Kharkov, 2002. Print. 2. *Chistovich, S. A.* *Avtomatizatsiya ustanovok i sistem teplosnabzheniya i otopleniya.* Leningrad: Stroyizdat, 1975. Print. 3. *Safonov, A. P.* *Avtomatizatsiya sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya.* Moskva: Energiya, 1974. Print. 4. *Tabunshchikov, Yu. A., and M. M. Borodach.* *Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdany.* Moskva: AVOK-PRESS, 2002. Print. 5. *Panferov, V. I., and A. N. Anisimova.* «K teorii matematicheskogo modelirovaniya teplovogo rezhima zdany.» *Vestnik YuUrGU 4* (2006): 128–132. Print. 6. *Kutsenko, A. S., S. V. Kovalenko, and V. I. Tovazhnyansky.* «Sistemnyy podkhod k matematicheskomu modelirovaniyu teplovykh protsessov zdany.» *Vostochno-evropeysky zhurnal peredovykh tekhnology 4/4(70)* (2014): 9–12. Print. 7. *Panferov, S. V., A. I. Telenik, and V. I. Panferov.* «Nekotorye problemy energosnabzheniya i avtomatizatsii v sistemakh teplosnabzheniya zdany.» *Vestnik YuUrGU 12* (2010): 79–86. Print.

Поступила (received) 13.12.2014

Я. Г. ЛОЦКИНА, аспирант ХНУРЭ, Харьков

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В статье проанализированы проблемы синтеза онтологической компоненты в составе интеллектуального ядра системы поддержки принятия решений, связанных с ликвидацией лесных пожаров. Изложен подход к разработке онтологической системы знаний о стратегии и тактике тушения лесных пожаров, лесной пирологии, а также о ресурсах для тушения, как совокупности трех предметных онтологий. Описан механизм реализации вывода на знаниях в среде онтологической системы. В основу подхода положена методология METHONTOLOGY.

Ключевые слова: лесные пожары, тактика и стратегия тушения, система поддержки принятия решений, интеллектуальное ядро, вывод на знаниях, онтология, онтологическая система.

Постановка проблемы в общем виде. В последние десятилетия практически во всех регионах мира наблюдается учащение антропогенных, техногенных и природных катастроф, в частности, крупных лесных пожаров (ЛП). Наличие указанной тенденции порождает ряд прикладных проблем, связанных с необходимостью повышения эффективности мероприятий по ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) путем разработки и внедрения новых информационных технологий решения задач на разных стадиях существования ЧС, возникших вследствие катастроф. Главная проблема состоит в преодолении сложности управления, когда необходим выбор из множества возможных решений. Вторая проблема связана с необходимостью постоянного уменьшения объема информации о текущем состоянии объекта принятия решений в условиях ЧС до того уровня, который действительно необходим лицу, принимающему решения (ЛПР), в соответствии с существующими ограничениями эргономического характера. Третья проблема возникает вследствие дефицита времени на принятие решения и координации решений различных ЛПР. Еще одна важная проблема интеллектуализации процессов, связанных с ликвидацией ЧС обусловлена необходимостью постоянного приобретения, сохранения и распределения знаний опытных руководителей, накопленных ими в процессе многолетней работы, включая при этом не только позитивный, но и негативный опыт решения задач в ходе ликвидации ЧС.

Анализ последних исследований и публикаций. Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Решению перечисленных выше проблем в последние годы посвящено значительное количество отечественных и зарубежных публикаций [1–4]. Вместе с тем, реализация совокупности процессов, связанных с перманентным выявлением, извлечением и структу-

ризацией знаний опытных специалистов в области ликвидации различного рода ЧС, на данном этапе развития систем с искусственным интеллектом, требует разработки качественно новых подходов. Наиболее перспективным, по мнению исследователей, например Т.П. Левашовой, М.П. Пашкина, А.В. Смирнова, Н.Г. Шилова [1], является применение системы онтологий в качестве хранилища предметных знаний, а также реализация вывода на знаниях непосредственно внутри онтологической системы. Вместе с тем, на этой основе, до настоящего времени не разработана информационная технология синтеза систем поддержки принятия решений (СППР) в условиях ЧС.

Цель исследования состоит в изложении комплексного подхода, предполагающего разработку отдельных онтологий, объединении их в онтологическую систему и применении этой системы в качестве интеллектуального ядра СППР в условиях ЧС.

Основные результаты исследования. В последнее время в инженерии знаний применяется определение онтологии как формальной спецификации согласованной концептуализации [4]. Под согласованной концептуализацией подразумевается, что данная концептуализация не является частным мнением, а является общей для некоторой общности людей.

Определение 1. Онтологический инжиниринг – ветвь инженерии знаний, использующий онтологический подход для построения онтологий [5].

При этом любая онтология имеет под собой концептуализацию, но одна концептуализация может быть основой разных онтологий, и две разные базы знаний могут отражать одну онтологию.

Основными компонентами онтологии являются: классы или понятия; атрибуты; отношения; аксиомы; экземпляры [4].

Определение 2. Экземпляры онтологии представляют собой единичные сущности, принадлежащие классам онтологии.

Например, «Слабый низовой пожар». Единицы онтологии (классы и экземпляры) могут иметь свойства – атрибуты. Каждый атрибут обычно имеет имя и значение и используется для хранения информации, которая специфична для данной единицы. Например, для экземпляра «Слабый низовой пожар» типичным атрибутом является «Скорость распространения кромки пожара».

Определение 3. Отношения в онтологии представляют тип взаимодействия между понятиями предметной области.

Отношения формально определяются как подмножество произведения n множеств: $R: E_1 \times E_2 \dots \times E_n$. Пример бинарного отношения – отношение часть–целое. Различие между отношениями и атрибутами заключается в том, что отношения связывают между собой два класса, а атрибут описывает внутренние свойства объектов посредством конкретных значений. Примером бинарного отношения может служить пара Переносная мотопомпа – Пожарный рукав. В онтологиях, содержащих описание однозначно трактуемых

предметных областей, к которым, в частности, относится и самолетостроение, наиболее значимым является так называемое таксономическое отношение (также известное как отношение класс–подкласс, родовидовое отношение или «is a» отношение).

Определение 4. Аксиомы (правила вывода) используются, чтобы записать истинные по определению высказывания об отношениях между сущностями предметной области.

Аксиомы могут быть включены в онтологию для разных целей, например для определения комплексных ограничений на значения атрибутов, аргументы отношений, для проверки корректности информации, описанной в онтологии, или для вывода новой информации. Например, ЕСЛИ Ветер в зоне пожара слабый И Пожар низовой ТО Применять захлестывание.

Определение 5. Словарь (гlossарий) является онтологией с пустым множеством отношений [4].

Например, словарем в онтологии «Лесные пожары» может служить справочник по лесной пирологии.

Таксономия по своей природе является простейшей онтологией, которая строится, преимущественно, на отношениях типа класс–подкласс. Вместе с тем, для отражения мерономического аспекта в семантике связей между концептами предметной области (ПрО), для некоторых типов онтологий целесообразно использование отношения типа часть–целое. Например, при синтезе метаонтологии в составе онтологической системы, содержащей знания мире пожарной техники, такой тип отношений необходим для эксплицитного описания состава пожарного депо.

В ряде случаев, исходя из особенностей предметной области, в онтологиях должны быть предусмотрены ограничения на область значений свойств экземпляров. При этом для задания области значений свойств формируется ряд множеств, элементами которых являются целые числа или символы алфавита. Возможно также формирование указанных множеств из подмножества концептов онтологии (множества экземпляров данного класса, множества классов).

В целом, существует обратная зависимость между выразительной способностью любой конкретной онтологии, и сложностью ее структуры [5]. Указанное обстоятельство определяет необходимость использования минимально необходимого набора отношений (онтологических зависимостей), при соблюдении заданной адекватности онтологии по отношению к описываемой предметной области.

На практике, наиболее формализованные онтологии представляют собой логические теории, построенные на произвольных логических утверждениях о понятиях в рамках заданной системы аксиом. Для описания таких формальных онтологий применяются различные логики (дескриптивные логики, модальные логики, логика предикатов первого порядка) и различные языки описания онтологий DAML+OIL, OWL, CycL, Ontolingua [7].

В ПрО «Пожарное дело» имеет место однозначность трактовки понятий, а также отношений между ними. Исходя из этого, при разработке приложений в областях, непосредственно связанных с ликвидацией лесных пожаров, вполне допустимо ограничиться созданием так называемых легких онтологий (lightweight ontologies) [7].

Модели онтологий и онтологической системы поддержки принятия решений в условиях ЧС.

Формально, онтология состоит из таксономии терминов, определений терминов и правил их обработки [4].

Определение 6. Формальной моделью онтологии O является упорядоченная триада объектов:

$$O = \langle E, R, F \rangle, \quad (1)$$

где E – конечное множество концептов (понятий, терминов) предметной области, которую представляет онтология O ;

R – конечное множество отношений между концептами (понятиями, терминами) заданной предметной области;

F – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии O .

Естественным ограничением, накладываемым на множество E , является его конечность и непустота. В соответствии с (1) R и F должны быть конечными множествами. Рассмотрим, однако, граничные случаи, связанные с пустотой.

Пусть $R = 0$ и $F = 0$. Тогда онтология O трансформируется в простой словарь:

$$O = \langle E, \{ \}, \{ \} \rangle. \quad (2)$$

Такая вырожденная онтология может быть полезна для спецификации, пополнения и поддержки словарей ПО, но онтологии–словари имеют ограниченное использование, поскольку не вводят эксплицитно смысла терминов. В практике создания онтологий для решения задач в условиях ЧС, когда используемые термины принадлежат очень узкому словарю и их смыслы уже заранее хорошо согласованы в пределах определенного сообщества (например, специалистов в области гражданской обороны), такой подход является вполне оправданным.

Практика онтологического инжиниринга дает возможность построения модели расширяемой онтологии и исследования ее свойств [5]. Как показано в этой работе, модель расширяемой онтологии является достаточно мощной для спецификации процессов формирования пространств знаний о конкретной ПрО. Вместе с тем и эта модель является неполной в силу своей пассив-

ности даже там, где определены соответствующие процедурные интерпретации и введены специальные функции пополнения онтологии. Ведь единственной точкой управления активностью в такой модели является запрос на интерпретацию определенного концепта. Этот запрос выполняется всегда одинаково и инициирует запуск соответствующей процедуры. При этом собственно вывод ответа на запрос и/или поиск необходимой для этого информации остается вне модели и должен реализовываться другими средствами. Учитывая вышесказанное, а также необходимость эксплицитной спецификации процессов функционирования онтологии, введем в рассмотрение понятие онтологической системы.

Определение 7. Формальная модель онтологической системы S представляет собой триплет вида:

$$S = \langle q^{meta}, \{O^{pr}\}, M \rangle, \quad (3)$$

где q^{meta} – онтология верхнего уровня (метаонтология);

$\{O^{pr}\}$ – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области;

M – модель машины вывода, ассоциированной с онтологической системой S .

Использование системы онтологий и специальной машины вывода с помощью описанной модели дает возможность решать различные задачи. Расширяя систему моделей $\{O^{pr}\}$, можно учитывать предпочтения пользователя, а изменяя модель машины вывода, вводить специализированные критерии релевантности получаемой в процессе поиска информации и формировать специальные репозитории накопленных данных, а также пополнять при необходимости используемые онтологии.

В состав представленной формулой (3) модели S входят следующие три онтологические компоненты:

Метаонтология «Техническое обеспечение тушения лесных пожаров».

Предметная онтология «Типы лесных пожаров».

Онтология задач «Методы тушения лесных пожаров».

Как указывалось выше, метаонтология q^{meta} оперирует общими концептами и отношениями, которые не зависят от конкретной предметной области. Концептами метауровня являются общие понятия, такие как «объект», «свойство», «значение» и т. д. Тогда на уровне метаонтологии q^{meta} мы получаем интенциональное описание свойств предметной онтологии и онтологии задач. Онтология метауровня, благодаря специфическим особенностям предметной области, является статической, что дает возможность обеспечить эффективный вывод на знаниях в процессе функционирования онтологической СППР.

Предметные онтологии $\{O^{pr}\}$ содержат понятия, описывающие конкретную предметную область, отношения, семантически значимые для данной предметной области, и множество интерпретаций этих понятий и отношений (декларативных и процедурных). Понятия предметной области специфичны в каждой прикладной онтологии, но отношения – более универсальны. Поэтому, кроме отношения «is a» в качестве базиса обычно выделяют такие отношения модели предметной онтологии, как «part of», «kind of», «contained in», «member of», «see also» и некоторые другие [3].

Отношение «part of» определено на множестве концептов, является отношением принадлежности и показывает, что концепт может быть частью других концептов. Оно является отношением типа «часть–целое» и по свойствам близко к отношению «is a» и может быть задано соответствующими аксиомами. Аналогичным образом можно ввести и другие отношения типа «часть–целое».

Иначе обстоит дело с отношением «see also». Оно обладает другой семантикой и другими свойствами. Поэтому целесообразно вводить его не декларативно, а процедурно, подобно тому, как это делается, например, при определении новых типов в языках программирования, где поддерживаются абстрактные типы данных [7]. Ниже приведен соответствующий фрагмент записи на алгоритмическом языке высокого уровня C++:

```
X see_also Y:  
see_also member_of Relation {  
if ( ( X is_a Notion) & ( Y is_a Notion) & ( X see_also Y ) )  
if (Operation connected_with X)  
Operation connected_with Y  
};
```

Необходимо отметить, что отношение «see also» не удовлетворяет условию транзитивности. Если предположить, что $(X1 \text{ see_also } X2) \& (X2 \text{ see_also } X3)$, то можно считать, что $(X1 \text{ see_also } X3)$. Однако по мере увеличения длины цепочки объектов, связанных данным отношением, справедливость транзитивного переноса свойства «connected with» падает. Поэтому в случае отношения «see also» мы имеем дело не с отношением частичного порядка (как, например, в случае отношения «is a»), а с отношением толерантности. Указанное ограничение может быть учтено при интерпретации конкретного отношения.

Анализ специфики предметной области «Принятие решений в ЧС» показывает, что введенный выше набор отношений является достаточным для начального описания соответствующих онтологий. Понятно, что этот базис является открытым и может пополняться в зависимости от предметной области и целей, стоящих перед прикладной системой, в которой такая онтология используется.

Онтология задач в качестве понятий содержит типы решаемых задач, а отношения этой онтологии, как правило, специфицируют декомпозицию задач на подзадачи. Вместе с тем, если прикладной системой решается единственный тип задач (например, задачи поиска релевантной запросу информации), то онтология задач может в данном случае описываться словарной моделью, рассмотренной выше. Таким образом, модель онтологической системы позволяет описывать необходимые для ее функционирования онтологии разных уровней.

Машина вывода онтологической системы в данном случае будет опираться на сетевое представление онтологий всех уровней. При этом ее функционирование будет связано:

- с активацией понятий и/или отношений, фиксирующих решаемую задачу (описание исходной ситуации);
- определением целевого состояния (ситуации);
- выводом на сети, заключающемся в том, что от узлов исходной ситуации распространяются волны активации, использующие свойства отношений, с ними связанных. Критерием останова процесса является достижение целевой ситуации или превышение длительности исполнения (time-out) [6].

Методологию и «жизненный цикл» создания онтологий обсудим на примере подхода METHONTOLOGY, разработанного Гомез-Перезом (Gomez-Perez) с коллегами, в рамках которого реализуются принципы Грубера, а также разработано программное окружение спецификации онтологий ODE (Ontology Design Environment) [4].

В рамках этого подхода выделяются следующие процедуры в «жизненном цикле» создания онтологии: управление проектом, собственно разработка и поддержка разработки.

Процедуры управления проектом включают планирование, контроль и гарантии качества. Планирование определяет, какие задачи должны быть выполнены, как они организуются, как много времени и какие ресурсы нужны для их выполнения. Контроль гарантирует, что запланированные задачи выполнены и именно так, как это предполагалось [4].

В соответствии с общепринятой технологией, разработка онтологической системы включает спецификацию, концептуализацию, формализацию и реализацию. Спецификация определяет цели создания онтологии, ее предполагаемое использование и потенциальных пользователей. Концептуализация обеспечивает структурирование предметных знаний в виде значимой эксплицитной модели. На этапе формализации происходит преобразование концептуальной модели в формальную или «вычислительную». Этап реализации предполагает программирование вычислительной модели на соответствующем языке представления знаний.

Процедуры поддержки, а именно приобретение знаний, оценка, интеграция, документирование и управление конфигурациями, выполняются одно-

временно с разработкой онтологической системы. Приобретение знаний аккумулирует знания в заданной предметной области. Оценка дает технические решения по оценке онтологии, соответствующего программного обеспечения и документации, как в процессе выполнения каждой фазы, так и между фазами. Интеграция требуется тогда, когда новая онтология создается с использованием уже существующих приложений. Документирование дает детальную, понятную и исчерпывающую информацию о каждой фазе и продукте в целом. Управление конфигурациями необходимо для архивации всех версий документации, программного обеспечения и кода онтологии, а также для контроля за изменениями, имеющими место в ходе разработки.

Общая схема «жизненного цикла» создания онтологий в рамках подхода METHONTOLOGY представлена на рис. 1.

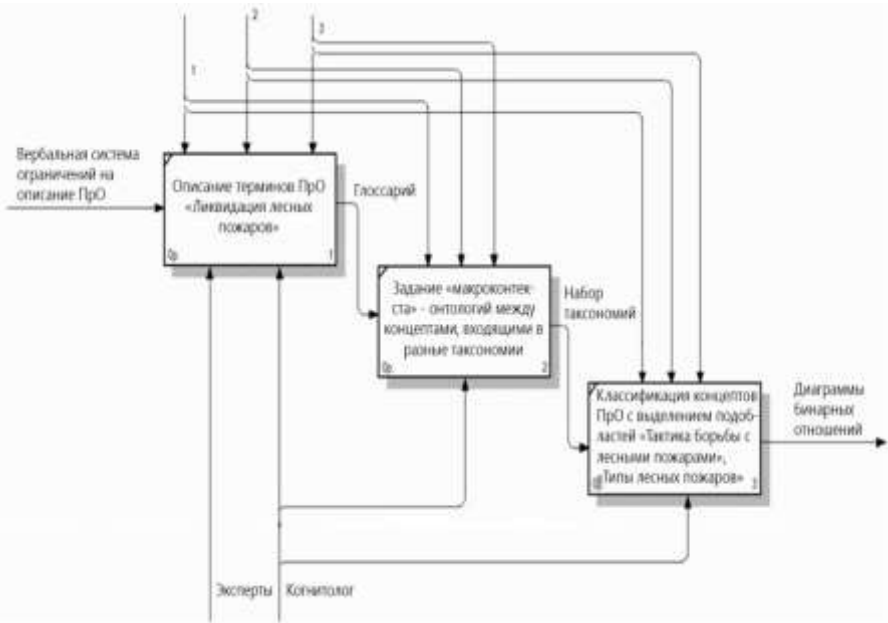


Рис. 1 – Разработка онтологической системы СППР по ликвидации ЛП (в рамках подхода METHONTOLOGY).

Процесс построения онтологии в рамках используемого подхода распадается на серию подпроцессов по созданию промежуточных представлений. При этом выполнение отдельных подпроцессов хотя и осуществляется последовательно, возможен итеративный режим, поскольку качество реализации всего процесса определяется полнотой и точностью уже накопленных знаний. В соответствии с рассматриваемой методологией, сначала строится глоссарий

терминов (Glossary of Terms), затем деревья классификации концептов (Concept Classification Trees) и диаграммы бинарных отношений (Binary Relations Diagrams). И только после этого – остальные промежуточные представления.

Выводы.

1. Применение онтологического подхода к созданию систем с искусственным интеллектом является перспективным с точки зрения повышения эффективности принятия решений в условиях ЧС, а также сохранения интеллектуального капитала специалистов в области ликвидации различного типа ЧС, в частности, ЛП.
2. Интеллектуальное ядро СППР ЛП целесообразно реализовывать в форме онтологических систем.
3. Специфика организации работ по ликвидации ЛП допускает возможность реализации онтологических систем в рамках технологии METHONTOLOGY.

Список литературы: 1. Левашова Т. В. Управление онтологиями / Т. В. Левашова, М. П. Пашкин, А. В. Смирнов, Н. Г. Шилов // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2003. – № 5. – С. 89–101. 2. Gomez-Perez A. From Knowledge based Systems to Knowledge Sharing Technology: Evaluation and Assessment / A. Gomez-Perez // Technical Report of Knowledge Systems Laboratory. KSL-94-73. – Stanford University, CA. – 1994. – P. 519–529. 3. Смирнов А. В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации / А. В. Смирнов, М. П. Пашкин, Н. Г. Шилов // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 1. С. 3–13. 4. Gruber T. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing / T. Gruber // JHCS. – 1994. – Vol. 43. – № 5/6 – P. 907 – 928. 5. Sowa J. Building, Sharing, and Merging Ontologies / J. Sowa // Режим доступа: <http://www.ifsowa.com/ontology/ontoshar.html>. 6. McGregor R. Tools for Assembling and Managing Scalable Knowledge Bases / R. McGregor, R. S Patil. // Режим доступа: <http://www.isi.edu/isd/-OntoLoom.hpkb>. 7. Ushold M. Ontologies: Principles, Methods, and Applications gent Intelligence through Data Mining / M. Ushold, M. Gruninger // Knowledge Engineering Review. – 1996. – Vol. 11. – № 2. – P. 93–155.

Bibliography (transliterated): 1. Levashova, T. V., et al. "Upravlenie ontologiyami." *Izv. RAN. Ser.: Teoriya i sistemy upravleniya*: No. 5. 2003. 89–101. Print. 2. Gomez-Perez, A. "From Knowledge based Systems to Knowledge Sharing Technology: Evaluation and Assessment" *Technical Report of Knowledge Systems Laboratory*. KSL-94-73. Stanford University, CA. 1994. 519–529. Print. 3. Smirnov, A. V., M. P. Pashkin and N. G. Shilov. "Ontologii v sistemah iskusstvennogo intellekta: sposoby postroeniya i organizatsii" *Novosti iskusstvennogo intellekta*. No. 1. 2002. 3–13. Print. 4. Gruber, T. "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing." *JHCS*. Vol. 43. No 5/6. 1994. 907–928. Print. 5. Sowa, J. "Building, Sharing, and Merging Ontologies." <<http://www.ifsowa.com/ontology/ontoshar.html>>. 6. McGregor, R., and R. S. Patil. "Tools for Assembling and Managing Scalable Knowledge Bases." <<http://www.isi.edu/isd/-OntoLoom.hpkb>>. 7. Ushold, M., and M. Gruninger. "Ontologies: Principles, Methods, and Applications gent Intelligence through Data Mining." *Knowledge Engineering Review*. Vol. 11. No 2. 1996. 93–155. Print.

Поступила (received) 05.12.2014

РЕФЕРАТИ

УДК 338.2

Обобщенная модель стратегического управления предприятием на основе системной оптимизации / М. Д. Годлевский, Н. Ю. Романович // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 3–7. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

У роботі в якості інструмента, який формалізує процес стратегічного управління розвитком підприємства використовується система ключових показників ефективності. На підставі ідеології системної оптимізації запропоновано метод формування ефективних рішень, який базується на розв'язанні задачі багатокритеріальної оптимізації з використанням метода поступок і метода обмежень.

Ключові слова: стратегічне управління, ключові показники ефективності, системна оптимізація, метод поступок, метод обмежень.

УДК 658.7(075.8)

Модели транспортных задач и структурно-топологического синтеза при стратегическом управлении логистикой дистрибуции / И. М. Годлевский, А. А. Пинаева // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 8–13. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

У роботі розглядається задача конфігурування логістичної мережі дистрибуції товарів масового використання. Проведена декомпозиція усєї задачі на дві окремі підзадачі: задача розсіювання; задача консолідації і розукрупнення продукції. Модель першої – задача структурно-топологічного синтезу з булевими змінними. Модель другої – транспортна задача лінійного програмування з безперервними, цілочисловими та булевими змінними. Для їх розв'язання використовувався метод гілок і меж.

Ключові слова: логістична мережа, дистрибуція, декомпозиція, транспортна задача, лінійне програмування, метод гілок і меж.

УДК 681.5.01

Использование дискретного аналога производной вектора состояний в законе управления при синтезе стабилизирующего управления запасами / Ю. И. Дорофеев // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 14–23. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0023.

Розглядається задача синтезу стабілізуючого керування запасами в умовах дії невідомого, але обмеженого зовнішнього попиту і структурних обмежень на значення станів і керуючих впливів. Керування будується у вигляді лінійного нестационарного зворотного зв'язку з використанням дискретного аналога похідної вектора станів. Для оцінювання множини досяжності замкнутої системи застосовується поняття інваріантного еліпсоїда. За допомогою техніки лінійних матричних нерівностей задача синтезу керування зведена до сукупності задач напіввизначеного програмування. Розглянуто чисельний приклад.

Ключові слова: управління запасами, безліч досяжності, інваріантний еліпсоїд, лінійне матричне нерівність, завдання полуопределенного програмування.

УДК 621.372

Проблема маневренности энергоблока АЕС і розвиток моделей його систем керування / В. П. Северин, О. М. Нікуліна, Д. А. Лютенко, О. Ю. Бобух // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 24–29. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Проаналізована проблема маневреності енергоблоків АЕС. Приведена модель енергоблоку ВВЕР-1000 для аналізу перехідних процесів. Перехідні процеси зміни стану енергоблоку в не заперечують можливість його роботи в маневрених режимах. Багатозонна модель реактора використана для дослідження комбінованого метода керування. Відмічені недоліки методів керування енергоблоком для розвитку його системи керування.

Ключові слова: енергоблок атомної електростанції, система автоматичного керування, методи аналізу та синтезу, математичні моделі, перехідні процеси.

УДК 631.3;519.71

Синтез нейросетевых подходов управления сложными динамическими процессами в сахарном производстве / С. А. Ляшенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 30–39. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0023.

У роботі надано аналіз процесу дифузії у цукровому виробництві і визначені основні показники та параметри роботи дифузійного апарату. Для основних змінних технологічного процесу отримання соку визначено статистичні характеристики. Отримана лінійна регресійна модель дифузійного апарату. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що вперше створена математична модель, у першому приближенні, може бути використана для управління параметрами технологічних процесів дифузійного апарату.

Ключові слова: цукрове виробництво, технологічний процес, нейронна мережа, управління, алгоритм, критерій якості, об'єкт, сигнал, ідентифікація.

УДК 004.9+303.732

Метод побудови інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень для багаторівневих підприємств з сезонною діяльністю / П. О. Чикунів, О. О. Криводубський // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 40–52. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Пропонується метод розробки інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень підприємства з багаторівневою структурою та сезонним характером формування портфелю заказів. Розглянути питання системного аналізу характеристик діяльності підприємства, розробки логіко-формальних моделей, моделей сезонного планування та оперативного управління, функціоналіз цілі управління та алгоритму функціонування інформаційної технології.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, інформаційна технологія, системний аналіз, критерій управління, багаторівневі системи управління, моделювання процесів планування і управління, алгоритми управління.

УДК 519.711/517.977.58

Розробка функціональних схем та алгоритмів системи прийняття рішень при плануванні виконання замовлень листопрокатного виробництва. / С. О. Косилов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 53–60. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Розробляється система підтримки прийняття рішень при розв'язанні задачі оптимального планування для класу технологічних об'єктів конвейерного типу з технологічною паузою перед обробкою на агрегатах і обмеженнями по часу виконання замовлень. На прикладі листопрокатного виробництва представлено результат такої розробки у вигляді структури та алгоритму роботи системи оптимального планування виконання замовлень. Пропонується метод урахування обмежень по часу при розв'язанні задачі оптимального планування.

Ключові слова: оптимальне планування, математичні моделі, система підтримки прийняття рішень, критерій оптимізації, функціоналіз цілі, час запізнення, алгоритм.

УДК 519.863:303.725.35

Алгоритм оптимізації однорідного потоку на взвешеном графе с ограничениями на пропускную способность вершин / С. А. Цыбульник // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 61–65. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2079-0023.

Запропоновано ітеративний алгоритм вибору оптимальної інтенсивності джерел однорідного потоку на слабо-зв'язковому зваженому графі, будь-яка пара вершин якого з'єднана не більш ніж одним шляхом, при обмеженнях на пропускну спроможність вершин і фіксованих коефіцієнтах передачі (трансформації) потоку по дугах. Алгоритм розроблений для вирішення завдань оптимізації водоохоронних заходів для річкової мережі.

Ключові слова: водний об'єкт, водоохоронні заходи, математична модель, зважений граф, однорідний потік, оптимізація.

УДК 519.876.2:33

Методика множинно-формального подання предметної області аудиту / Т. В. Нескородєва // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 66–74. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0023.

Запропоновано методика множинно-формального подання предметної області аудиту для комплексного аналізу за наступними напрямками: постачання, виробництво, продаж, фінансово-економічна діяльність; рівнями і періодами управління; видам господарської діяльності, засобів і джерел підприємства; по відповідності нормативних, планових та звітних даних. Методика проілюстрована на прикладі обліку прямих матеріальних витрат.

Ключові слова: множинно-формальне подання, предметна область аудиту, комплексний аналіз, облік прямих матеріальних витрат, методика.

УДК 004.942

Розробка математичного та алгоритмічного забезпечення інформаційної технології аналізу фінансового стану емітентів / О. В. Шматко, Л. С. Овечкіна // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 75–80. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Запропоновано метод комплексного фінансового аналізу емітента цінних паперів з використанням нечітких уявлень. Виконано огляд найбільш поширених методик аналізу фінансового стану підприємства. Показано основні недоліки існуючих методів та моделей оцінки фінансового стану підприємства. Визначено основні параметри, що застосовуються при комплексному фінансовому аналізі стану підприємства. Виконано опис програмного забезпечення, що реалізує запропоновану методика.

Ключові слова: фондовий ринок, емітенти, банкрутство, оцінка фінансового стану, нечіткі уявлення.

УДК 620:519.876.5:004

Обчислювальний метод ідентифікації поверхневих атомів для обробки даних молекулярної динаміки / І. І. Марченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 81–86. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Пропонується метод обробки даних, отриманих в результаті моделювання процесів формування тонких плівок методом молекулярної динаміки, для знаходження поверхневих частинок матеріалу. Даний метод був протестований для ряду типових прикладів і показав коректні результати. Результати роботи запропонованого методу можуть бути використані для знаходження щільності матеріалу, шорсткості, мікронапруг та ін.

Ключові слова: математичне моделювання, молекулярна динаміка, обчислювальний алгоритм.

УДК 658.506

Процедура розв'язання задачі управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи / О. Є. Голоскоков, І. Д. Крюков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 87–96. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Пропонується підхід до управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи, в рамках якого потрібно визначити оптимальну стратегію управління інвестиційним портфелем шляхом знаходження ризикової структури портфеля і розподілу капіталу між різними видами активів. Розглядається одна з основних портфельних теорій – модель Марковіца, яка є фундаментальною у теорії портфельних інвестицій.

Ключові слова: інвестиції, портфель, управління, активи, ризики, акції, банківські вклади, фізична особа, формування інвестиційного портфеля.

УДК 658.506

Діагностування підприємства як підхід для визначення класу фінансового стану, в якому воно перебуває / О. Є. Голоскоков, Р. А. Скрипченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 97–105. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Пропонується діагностування стану підприємства як підхід для визначення його фінансового стану, для представлення існуючої інформації у більш наглядному вигляді, на основі аналізу значень планових та фактичних показників та подальшого визначення плану функціонування підприємства. Для визначення стану підприємства пропонується використовувати технології роботи з неточною інформацією за допомогою нейронних мереж.

Ключові слова: діагностування, фінансовий стан, підприємство, розпізнавання образів, нейронна мережа.

УДК 697.31

Вибір структури системи автоматичного управління індивідуального теплового пункту / С. В. Коваленко, В. І. Товажнянський // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 108–112. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

Метою цієї статті є порівняльний аналіз різних за структурою САУ теплопостачанням. У статті пропонується найпростіша теплова, електрична та математична моделі теплопостачання, а також структурна схема комбінованої САУ, що дозволяють шляхом відповідної зміни деяких параметрів моделі, аналізувати широку гаму регуляторів і провести їх порівняння між собою. Порівняльний аналіз різних варіантів структур регуляторів підтвердив суттєве зменшення часу перехідних процесів при використанні комбінованого принципу управління теплопостачанням.

Ключові слова: теплопостачання, автоматичне управління, індивідуальний тепловий пункт, електрична та математична моделі, перехідні процеси.

УДК 004.89

Онтологічний підхід до розробки інтелектуального ядра системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій / Я. Г. Лоцькіна // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 113–121. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

У статті проаналізовані проблеми синтезу онтологічної компоненти в складі інтелектуального ядра системи підтримки прийняття рішень, пов'язаних із ліквідацією лісових пожеж. Викладено підхід до розробки онтологічної системи знань про стратегію та тактику гасіння лісових пожеж, лісової пірології, а також про ресурси для гасіння, як сукупності трьох предметних онтологій. Описано механізм реалізації висновку на знаннях в середовищі онтологічної системи. В основу підходу покладена методологія METHONTOLOGY.

Ключові слова: лісові пожежі, тактика та стратегія гасіння, система підтримки прийняття рішень, інтелектуальне ядро, висновок на знаннях, онтологія, онтологічна система.

РЕФЕРАТЫ

УДК 338.2

Обобщенная модель стратегического управления предприятием на основе системной оптимизации / М. Д. Годлевский, Н. Ю. Романович // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 3–7. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

В работе в качестве инструмента, который формализует процесс стратегического управления развитием предприятия используется система ключевых показателей эффективности. На основе идеологии системной оптимизации предложен метод формирования эффективных решений, который базируется на решении задачи многокритериальной оптимизации с использованием метода уступок и метода ограничений.

Ключевые слова: стратегическое управление, ключевые показатели эффективности, системная оптимизация, метод уступок, метод ограничений.

УДК 658.7(075.8)

Модели транспортных задач и структурно-топологического синтеза при стратегическом управлении логистикой дистрибуции / И. М. Годлевский, А. А. Пинаева // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 8–13. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

В работе рассматривается задача конфигурирования логистической сети дистрибуции товаров массового использования. Проведена декомпозиция всей задачи на две отдельные подзадачи: задача рассеивания; задача консолидации и разукрупнения продукции. Модель первой – задача структурно-топологического синтеза с булевыми переменными. Модель второй – транспортная задача линейного программирования с непрерывными, целочисленными и булевыми переменными. Для их решения использован метод ветвей и границ.

Ключевые слова: логистическая сеть, дистрибуция, декомпозиция, транспортная задача, линейное программирование, метод ветвей и границ.

УДК 681.5.01

Использование дискретного аналога производной вектора состояний в законе управления при синтезе стабилизирующего управления запасами / Ю. И. Дорофеев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 14–23. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0023.

Рассматривается задача синтеза стабилизирующего управления запасами в условиях действия неизвестного, но ограниченного внешнего спроса и структурных ограничений на значения состояний и управляющих воздействий. Управление строится в виде линейной нестационарной обратной связи с использованием дискретного аналога производной вектора состояний. Для оценивания множества достижимости замкнутой системы применяется понятие инвариантного эллипсоида. С помощью техники линейных матричных неравенств задача синтеза управления сведена к совокупности задач полуопределенного программирования. Рассмотрен численный пример.

Ключевые слова: управление запасами, множество достижимости, инвариантный эллипсоид, линейное матричное неравенство, задача полуопределенного программирования.

УДК 621.372

Проблема маневренности энергоблока АЭС и развитие моделей его систем управления / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, Д. А. Лютенко, Е. Ю. Бобух // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 24–29. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Проанализирована проблема маневренности энергоблоков АЭС. Приведена модель энергоблока ВВЭР-1000 для анализа переходных процессов. Переходные процессы изменения состояния энергоблока не противоречат возможности его работы в маневренных режимах. Многозонная модель реактора использована для исследования комбинированного метода управления. Отмечены недостатки методов управления энергоблоком для развития его системы управления.

Ключевые слова: энергоблок атомной электростанции, система автоматического управления, методы анализа и синтеза, математические модели, переходные процессы.

УДК 631.3;519.71

Синтез нейросетевых подходов управления сложными динамическими процессами в сахарном производстве / С. А. Ляшенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 30–39. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0023.

В работе были рассмотрены вопросы управления сложными динамическими процессами, имеющими место в сахарном производстве. Сделан анализ существующих методов управления, а также сделан анализ управления процессами в сахарном производстве на основе применяемых нейронных сетей. Детально проанализированы различные подходы в системе нейроуправления

технологическими процессами в сахарном производстве. Полученные алгоритмы, в соответствии с критериями качества управления, позволяют учитывать изменение входных и выходных сигналов в системе управления процессами.

Ключевые слова: сахарное производство, технологический процесс, нейронная сеть, управление, алгоритм, критерий качества, объект, сигнал, идентификация.

УДК 004.9+303.732

Метод построения информационной технологии системы поддержки принятия решений для многоуровневых предприятий с сезонной деятельностью / П. А. Чикунев, О. А. Криводубский // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 40–52. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Предлагается метод разработки информационной технологии системы поддержки принятия решений предприятия с многоуровневой структурой и сезонным характером портфеля заказов. Рассмотрены вопросы системного анализа характеристик деятельности предприятия, разработки логико-формальных моделей, моделей сезонного планирования и оперативного управления, функционалов цели управления и алгоритма информационной технологии.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, информационная технология, системный анализ, критерии управления, многоуровневые системы управления, моделирование процессов планирования и управления, алгоритмы управления.

УДК 519.711/517.977.58

Разработка функциональных схем и алгоритмов системы принятия решений при планировании выполнения заказов листопрокатного производства / С. А. Косилов, // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 53–60. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Разрабатывается система поддержки принятия решений при решении задачи оптимального планирования для класса технологических объектов конвейерного типа с технологической паузой перед обработкой на агрегатах и ограничениями по времени выполнения заказов. На примере листопрокатного производства представлен результат такой разработки в виде структуры и алгоритма работы системы оптимального планирования выполнения заказов. Предлагается метод учёта ограничений по времени при решении задачи оптимального планирования.

Ключевые слова: оптимальное планирование, математические модели, система поддержки принятия решений, критерий оптимизации, функционал цели, время запаздывания, алгоритм.

УДК 519.863:303.725.35

Алгоритм оптимизации однородного потока на взвешенном графе с ограничениями на пропускную способность вершин / С. А. Цыбульник // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 61–65. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2079-0023.

Предложен итеративный алгоритм выбора оптимальных интенсивностей источников однородного потока на слабо-связном взвешенном графе, любая пара вершин которого соединена не более чем одним путем, при ограничениях на пропускную способность вершин и фиксированных коэффициентах передачи (трансформации) потока по дугам. Алгоритм разработан для решения задач оптимизации водоохранных мероприятий для речной сети.

Ключевые слова: водный объект, водоохранные мероприятия, математическая модель, взвешенный граф, однородный поток, оптимизация.

УДК 519.876.2:33

Методика множественно-формального представления предметной области аудита / Т. В. Нескорородева // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 66–74. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0023.

Предложена методика множественно-формального представления предметной области аудита для комплексного анализа по следующим направлениям: поставка, производство, продажа, финансово-экономическая деятельность; уровням и периодам управления; видам хозяйственной деятельности, средств и источников предприятия; по соответствию нормативных, плановых и отчетных данных. Методика проиллюстрирована на примере учета прямых материальных затрат.

Ключевые слова: множественно-формальное представление, предметная область аудита, комплексный анализ, учет прямых материальных затрат, методика.

УДК 004.942

Разработка математического и алгоритмического обеспечения информационной технологии анализа финансового состояния эмитентов / А. В. Шматко, Л. С. Овечкина // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 75–80. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Предложен метод комплексного финансового анализа эмитента ценных бумаг с использованием нечетких представлений. Выполнен обзор наиболее распространенных методик анализа финансового состояния предприятия. Показаны основные недостатки существующих методов и моделей оценки финансового состояния предприятия. Определены основные параметры, применяемые при комплексном финансовом анализе состояния предприятия. Выполнено описание программного обеспечения, реализующего предложенную методику.

Ключевые слова: фондовый рынок, эмитенты, банкротство, оценка финансового состояния, нечеткие представления.

УДК 620:519.876.5:004

Вычислительный метод идентификации поверхностных атомов для обработки данных молекулярной динамики / И. И. Марченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 81–86. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Предлагается метод обработки данных, полученных в результате моделирования процессов формирования тонких пленок методом молекулярной динамики, для нахождения поверхностных атомов материала. Данный метод был протестирован для ряда типичных примеров и показал корректные результаты. Результаты работы предложенного метода могут быть использованы для нахождения плотности, шероховатости, микронапряжений и пр.

Ключевые слова: математическое моделирование, молекулярная динамика, вычислительный алгоритм.

УДК 658.506

Процедура решения задачи управления структурой инвестиционного портфеля физического лица / А. Е. Голоскоков, И. Д. Крюков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 87–96. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Предлагается подход к управлению структурой инвестиционного портфеля физического лица, в рамках которого нужно определить оптимальную стратегию управления инвестиционным портфелем путем нахождения рискованной структуры портфеля и распределения капитала между различными видами активов. Рассматривается одна из основных портфельных теорий – модель Марковица, которая является фундаментальной в теории портфельных инвестиций.

Ключевые слова: инвестиции, портфель, управление, активы, риски, акции, банковские вклады, физическое лицо, формирования инвестиционного портфеля.

УДК 658.506

Диагностирование предприятия как подход к определению класса финансового состояния, в котором оно находится / А. Е. Голоскоков, Р. А. Скрипченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 97–105. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Предлагается диагностирование состояния предприятия, как подход к определению его финансового состояния, для представления имеющейся информации в более наглядном виде, на основании анализа значений плановых и фактических показателей и дальнейшего определения плана функционирования предприятия. Для определения состояния предприятия предлагается использовать технологии работы с неточной информацией с помощью нейронных сетей.

Ключевые слова: диагностирование, финансовое состояние, предприятие, распознавание образов, нейронная сеть.

УДК 697.31

Выбор структуры системы автоматического управления индивидуального теплового пункта / С. В. Коваленко, В. И. Товажнянский // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 108–112. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

Целью настоящей статьи является сравнительный анализ различных по структуре САУ теплоснабжением. В статье предлагается простейшая тепловая, электрическая и математическая модели теплоснабжения, а также структурная схема комбинированной САУ, позволяющие путем соответствующего изменения некоторых параметров модели, анализировать широкую гамму регуляторов и провести их сравнение между собой. Сравнительный анализ различных вариантов структур регуляторов подтвердил существенное уменьшение времени переходных процессов при использовании комбинированного принципа управления теплоснабжением.

Ключевые слова: теплоснабжение, автоматическое управление, индивидуальный тепловой пункт, электрическая и математическая модели, переходные процессы.

Ключові слова: лісові пожежі, тактика та стратегія гасіння, система підтримки прийняття рішень, інтелектуальне ядро, висновки на знаннях, онтологія, онтологічна система.

Онтологический подход к разработке интеллектуального ядра системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций / Я. Г. Лоцкина / Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – № 61 (1103). – С. 113–121. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

В статье проанализированы проблемы синтеза онтологической компоненты в составе интеллектуального ядра системы поддержки принятия решений, связанных с ликвидацией лесных пожаров. Изложен подход к разработке онтологической системы знаний о стратегии и тактике тушения лесных пожаров, лесной пирологии, а также о ресурсах для тушения, как совокупности трех предметных онтологий. Описан механизм реализации вывода на знаниях в среде онтологической системы. В основу подхода положена методология METHONTOLOGY.

Ключевые слова: лесные пожары, тактика и стратегия тушения, система поддержки принятия решений, интеллектуальное ядро, вывод на знаниях, онтология, онтологическая система.

ABSTRACTS

УДК 338.2

The generalized model of an enterprise strategic management based on system optimization / M. D. Godlevskiy, N. U. Romanovich // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, management and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 3–7. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

The concept "strategic management" was first used at the junction of 60-70-es of the 20th century to indicate the difference between the current management at the level of production and management,

which is carried out at the highest level of an enterprise. In this case, the focus is transferred to the external environment to respond adequately and timely to the changes taking place in it.

As a tool, which generates the process of strategic management of enterprise development, the key performance indicators are used. On the basis of system optimization ideology the method for the development of effective solutions, which, depending on the class of system optimization problem can be "discovered" as a set of various models, algorithms, techniques is proposed. The method is based on solving the problem of multi-criteria optimization providing that the original purpose and capabilities of the company are incompatible. Multi-criteria optimization is carried out using the concession and limitation method.

Keywords: strategic management, key performance indicators, optimization system, concessions method, limitation method.

УДК 658.7(075.8)

Models of transportation problems and structural-topological synthesis in the strategic management of logistics distribution / I. M. Godlevskiy, A. A. Pinaeva // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, management and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 8–13. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

A corporate strategy of the company is shaped from marketing, logistics and production strategies. A strategic goal in the logistics domain consists of several sub-goals, one of which is to configure the logistics network. Models and algorithms for solving transport problems and selecting placement of manufactures and warehouses are used in order to solve the configuration problem. This paper considers the layered structure of the logistics distribution network of two intermediate levels for mass consumer goods, which are presented by disaggregating and consolidating warehouses.

The purpose of the work is the development of transport problems models and selection of the intermediate warehouses location due to a given location of a manufacture.

To achieve this goal the decomposition of the whole problem is carried out and separated into two sub-tasks: the task of dispersion; the task of consolidation and the task of products disaggregation. The first model degenerates into a problem of structural-topological synthesis with Boolean variables, as a result of its solving the consumption warehouses are attached to certain disaggregated warehouses.

The second model is a transportation problem with intermediate nodes which is converted into an ordinary transportation problem of linear programming with continuous, integer and Boolean variables. As a result the location of consolidating warehouses and product flows from manufactures to disaggregated warehouses are defined. The branch and bound method is used to solve these two sub-problems.

Keywords: logistic network, distribution, decomposition, transport task, linear programming, method of branches and borders.

The use of discrete analogue of the state vector derivative in the control law at the synthesis of a stabilizing inventory control / Yu. I. Dorofeiev // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. –Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 14–23. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-0023.

The problem of stabilizing inventory control synthesis under the action of an unknown but bounded external demand and structural constraints on the values of states and control actions is consider. Control law is designed as a linear time-dependent feedback using the discrete analogue of the state vector derivative. This control method allows to form the desired dynamic properties of a closed system with incomplete information about the external disturbances. The concept of invariant ellipsoid is used for the evaluation of the closed system reachability set. The control synthesis problem is reduced to a set of semidefinite programming using the technique of linear matrix inequalities. The numerical example is consider. Numerical solution of the problem is obtained by using freely distributed software implementation of methods for solving convex optimization.

Keywords: inventory control, reachability set, invariant ellipsoid, linear matrix inequality, semidefinite programming.

The problem of maneuverability of unit of nuclear power plant and development of models of its control systems / V. P. Severin, E. N. Nikulina, D. A. Lutenko, O. Ju. Bobuh // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 24–29. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

The problem of maneuverability for units of nuclear power plants in Ukraine was analyzed and to solve this problem need to modernize the systems of automatic control units was justified. The linear model for unit of nuclear power plants with reactor WWER-1000 to analyze transients after changing load of the electrical generator were shown. On base of this model the synthesis of optimal automatic control systems in normal operation modes with various regulators was made. Transients of changing state of power unit were shown. According to its temporal characteristics of these processes do not contradict the possibility of work power unit maneuvering modes. For research of the compromise combined method of control that provided stability of the reactor, the multizone model of nuclear reactor with calculation of axial offset in the model of power unit was used. Disadvantages of different models and methods of control by power unit of nuclear power plant in order to improve its control system were analyzed.

Keywords: unit of nuclear power plants, automatic control system, analyses and synthesis methods, mathematical models, transients.

Synthesis of neural network approaches the management of complex dynamic processes in sugar production / S. Liashenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 30–39. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-0023.

The question of difficult and nonstationary dynamical processes that take place in sugar production have been examined in this work. There have been determined basic, commonly used, effective methods and schemes of neurocontrol of technological processes: direct and indirect methods, consecutive scheme of neurocontrol, scheme of inverse spread in time, parallel neurocontrol and direct accommodative control. For each of examined methods there have been handpicked neural network models. There have been made the analysis of these models, also the analysis of controlling of process in sugar production based on applied neural networks. There have been particularly analyzed different approaches in neurocontrol of technological processes. There have been received algorithms of settings of neuroregulators according to appropriate quality criteria of controlling, also allows to take into consideration changes of incoming and outgoing signals in automatic system of controlling of processes. Improvement of properties of obtained algorithms reaches by using methods of controlling theory, by means of taking into consideration not only the incoming and outgoing values, but also their foretold values.

Keywords: sugar production, technological process, neural network, controlling, algorithm, quality criteria, object, signal, identification.

The constructions method of the information technology by decision support system for multilevel enterprise with seasonal activities / P. O. Chikunov, O. O. Krivodubskiy // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 40–524. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0023.

The work is devoted to solving scientific problems of formation a constructions method of the information technology by decision support system based on systematic analysis of the characteristics of the technical and economic activities in processing enterprise with multi-level management structure and the seasonal nature of the formation and execution of the order book and with multilevel forecasting seasonal and monthly indicators, with polyvariance determination of optimal values loading of capacities and operational management of processing complex. In method are includes: the system analysis of the characteristics of the enterprise, the development of logical-formal models of relationship performance, static mathematical models of seasonal planning, dynamic models of operational management, functional goals of optimal control, numerical procedures for solving equations and finding optimal solutions and an algorithm of information technology. Static statistical models of strategic and tactical planning differs from the existing by subject areas and recurrent adaptation

process. Dynamic deterministic real-time model differ from existing by adaptive parameters estimation procedures. An improved method for coordinated interaction of decision-makers in determining the performance of the production program, which consists of a hierarchy of subordination making solutions for different criteria.

Keywords: decision support system, information technology, systems analysis, management criteria, multi-level system management, process modeling, planning and management, control algorithms.

Development of functional schemes and algorithms for decision-making system in the planning of orders sheet rolling production / S. O. Kosylov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 53–60. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

There have been developed decision support system in solving the problem of optimal scheduling for class technological objects conveyer type with technological pause before processing on units and limited by order turnaround time. The result of this development has been presented as a structure and algorithm of the system optimal planning of orders for sheet rolling production. In addition, the method of accounting for time constraints in solving the problem of optimal planning has been proposed. The system is implemented in the form of automatic workplace for a person who makes decisions and allows multivariate estimates of the production program. There have been made conclusions of the advantages of the developed approach to planning and increase production efficiency in its use. **Keywords:** optimal planning, mathematical models, decision support system, optimization criteria, objective function, duration of the delay, the algorithm.

The optimization algorithm of uniform flow in the weighted graph with constraints on bandwidth of vertices / S. A. Tsybulnyk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, management and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 61–65. – Bibliogr.: 2. – ISSN 2079-0023.

We propose an iterative algorithm for selecting optimal source intensities of the uniform flow in the weakly connected weighted graph, while every pair of its vertices is connected by no more than one path, with constraints on the bandwidth of vertices and fixed transmission (transformation) ratio of flow along the arcs. The computational scheme is an iterative procedure that uses a piecewise linear approximation of the function of the flow sources intensity at the vertices of the graph. The algorithm can be used to select the optimal water conservation measures providing normative quality of surface water in the basin according to the dominant or integral indicator of return water composition.

Keywords: body of water, water conservation measures, mathematical model, weighted graph, uniform flow, optimization.

Method of multiple-formal representation audit domain / T. B. Neskorodeva // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, management and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 66–74. – Bibliogr.: 3. – ISSN 2079-0023.

The method of multiple-formal representation of the audit domain for a comprehensive analysis of the following areas: types of work (supply, production, sales, financial and economic activities); The structure of the analysis domain is presented as a union of sets of data on the direction considered and determined the relationship between the data sets. The method is illustrated by the account of direct material costs in the calculation of the production cost. Converting data analytical account of direct material costs in the calculation of cost of production is formalized as a multilayer directed graph whose vertices – analytical account of the account of current assets, ribs – accounting transactions of material costs. Transmission, storage, data conversion is performed according to the structure of the graph and at all stages shown in the domain analysis of the relevant departments and activities.

Keywords: multiple-formal representation, the subject area of audit, a comprehensive analysis, account of the direct material costs, method.

Development of mathematical and algorithmic support of information technology analysis of the financial condition of the issuer / A. V. Shmatko, L. S. Ovechkina // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, management and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 75–80.– Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

Method of complex financial analysis of the issuer's securities using fuzzy concepts proposed. Overview of the most common methods of analysis of the financial condition of the company is made. Analysis of existing methods and models for assessing the financial condition of the company held. The main drawbacks of existing methods and models for assessing the financial condition of the company are shown. The main stages of risk assessment described in bankruptcy. The main parameters used in the analysis of complex financial condition of the company are defined. The classification of the risk of bankruptcy of the company performed. Description software that implements the proposed method performed. Developed software that implements the method of complex financial analysis risk of bankruptcy will improve the quality of managerial decisions when choosing investment options.

Keywords: stock market, issuers, bankruptcy, financial condition assessment, fuzzy representation

Computational method for the surface atoms identification in the molecular dynamics data / I. I. Marchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 81–86. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

We propose a method of processing data obtained from the by molecular dynamics simulation of the formation of thin films for identification of the surface particles of material. The value of the electron density around each atom can be used as a criterion of atom affiliation to the surface of the material. As a result, the problem of finding the surface atoms is reduced to the processing of three-dimensional array. Value of each element is the electron density in the geometric point corresponding to the geometric center of the array element. This method has been tested for several typical examples and showed the correct results. The results of the proposed method can be used to find the density, roughness, microstrain, etc.

Keywords: mathematical modeling, molecular dynamics, calculation algorithm.

The procedure for solving the control problem of the investment portfolio structure for an individual person / A. E. Goloskokov, I. D. Kriukov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 87–96. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0023.

An approach to the management structure of the investment portfolio of an individual, in which you need to determine the optimal strategy for managing the investment portfolio by finding the risk structure of the portfolio and capital allocation between different types of assets. Considered one of the main portfolio theory - Markowitz model, which is fundamental in the theory of portfolio investments and is used when the structure of the risk portfolio. In the allocation of capital between risk and risk-free part of the portfolio management is used in the form of feedback based on the Pontryagin maximum principle. The allocation of capital between the different types of investments carried out in such a way that the real capital of the portfolio should be a capital investor specified benchmark portfolio with a given yield to them.

Keywords: investment portfolio management, assets, risks, stocks, bank deposits, individual, formation of an investment portfolio.

Diagnosing the company's approach to the definition of the class of financial condition in which it is/ A. E. Goloskokov, R. A. Skrypchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 97–105. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

Here proposed to diagnose the state of the enterprise, as an approach to the determination of its financial condition, to respond information available in a visual form, based on analysis of planned and actual values of parameters and further define the operation of the business plan. To determine the

condition of the company are encouraged to use technology to work with imprecise information using neural networks.

The choice of artificial neural network topology as the process of setting it's structure was carried out on the basis of information obtained from commercial organizations, which are currently actively use this type of technology. The developed software based on modern programming concepts using basic design patterns. Moreover, this software can be used on any device that supports platform .Net 4.

Keywords: diagnosis, financial condition, enterprise, pattern recognition, neural network.

The choice of the structure of the automatic control of the individual heating station / S. V. Kovalenko, V. I. Tovazhnyansky // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 61 (1103). – P. 108–112. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-0023.

The actual problem of increasing the efficiency and maintain comfortable conditions in residential and industrial areas in conditions of significant fluctuation of temperature of environment is considered in the article.

One effective way for solution of this problem is the automation of process control in relation to individual heat points of multi-storey buildings.

The article gives a brief overview and critical analysis of the main stages and directions of development of approaches to the problem of automation of individual heating units. It is noted that the majority of control algorithms heating process based on the use of regulators of direct action, compensating the basic perturbation - a change of temperature of environment. Also, in a number of scientific researches, as an alternative, is suggested to build a system of automatic control of heating supply based on the combined principle of management.

The purpose of this article is a comparative analysis of different structures of automatic control systems (ACS) of heat supply.

The article offers simple thermal, electric and mathematical models of heating supply, as well as structural diagram of the combined ACS, allowing by a corresponding change some parameters of the model to analyze wide scale regulators and to compare them with each other.

Comparative analysis of different variants of the structure of regulators confirmed a significant decrease the time of transient process by using the combined principle of management of heating supply.

Keywords: heating supply, automatic control, individual heat points, electric and mathematical models, transient processes.

Ontological approach to the development of the intelligent core of decision support system under the conditions of emergent situations / Y. G. Lotskina // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – No 61 (1103). – P. 113–121. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-0023.

The paper presents the analysis of the problem of synthesis of ontological component in the intelligent core of decision-making system related to woods fire fighting. The paper suggests an approach of ontological knowledge system development concerning the strategy and tactics of woods fire fighting, woods pyrology and necessary resources as a totality of three domain ontologies. The mechanism of knowledge-based inference in the ontological system is described. The basis of the approach is made by METHONTOLOGY approach. The process of ontology construction within this approach breaks down into a series of sub-processes to create an intermediate representation. In accordance with the proposed methodology, we first construct a glossary of terms, then concept classification trees and binary relations diagrams. The use of ontological approach to the creation of systems with artificial intelligence is promising in terms of improving the efficiency of decision-making in emergency situations, as well as conservation of intellectual capital of experts.

Keywords: woods fire, tactics and strategy of fire fighting, decision support system, intelligent core, knowledge-based inference, ontology, ontological system.

ЗМІСТ

<i>Годлевский М. Д., Романович Н. Ю.</i> Обобщенная модель стратегического управления предприятием на основе системной оптимизации	3
<i>Годлевский И. М., Пинаева А. А.</i> Модели транспортных задач и структурно-топологического синтеза при стратегическом управлении логистической дистрибуции	8
<i>Дорофеев Ю. И.</i> Использование дискретного аналога производной вектора состояний в законе управления при синтезе стабилизирующего управления запасами	14
<i>Северин В. П., Никулина Е. Н., Лютенко Д. А., Бобух Е. Ю.</i> Проблема маневренности энергоблока АЭС и развитие моделей его систем управления	24
<i>Ляшенко С. А.</i> Синтез нейросетевых подходов управления сложными динамическими процессами в сахарном производстве	30
<i>Чикунев П. О., Криводубський О. О.</i> Метод побудови інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень для багаторівневих підприємств з сезонною діяльністю	40
<i>Косилов С. О.</i> Розробка функціональних схем та алгоритмів системи прийняття рішень при плануванні виконання замовлень листопрокатного виробництва	53
<i>Цыбульник С. А.</i> Алгоритм оптимизации однородного потока на взвешенном графе с ограничениями на пропускную способность вершин	61
<i>Нескорородева Т. В.</i> Методика множественно-формального представления предметной области аудита	66
<i>Шматко О. В., Овечкіна Л. С.</i> Розробка математичного та алгоритмічного забезпечення інформаційної технології аналізу фінансового стану емітентів	75
<i>Марченко И. И.</i> Вычислительный метод идентификации поверхностных атомов для обработки данных молекулярной динамики	81
<i>Голоскоков О. Є., Крюков І. Д.</i> Процедура розв'язання задачі управління структурою інвестиційного портфеля фізичної особи	87
<i>Голоскоков О. Є., Скрипченко Р. А.</i> Діагностування підприємства як підхід для визначення класу фінансового стану, в якому воно перебуває	97
<i>Коваленко С. В., Товажнянський В. И.</i> Выбор структуры системы автоматического управления индивидуального теплового пункта	106
<i>Лоцкина Я. Г.</i> Онтологический подход к разработке интеллектуального ядра системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций	113
Реферати	122
Рефераты	125
Abstracts	129

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія:
Системний аналіз, управління
та інформаційні технології

№ 61 (1103)

Наукові редактори д-р техн. наук, проф. М. Д. Годлевський,
д-р техн. наук, проф. О. С. Куценко
Технічний редактор канд. техн. наук, проф. М. І. Безменов
Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Кафедра системного аналізу і управління.
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Обл.-вид № 103–14.

Підп. до друку 30.12.2014 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 7,9. Облік.-вид. арк. 8,7.
Тираж 100 пр. Зам. № 24.14. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня «ФОП Стеценко І. І.»
Свідоцтво про державну реєстрацію ХК № 82 від 22.04.2003 р.
61019, Харків, пр. Ілліча, 103а, кв. 21, тел. (097) 24-88-049

