

Р е д а к ц і й н а к о л е г і я

Головний редактор	<i>д.т.н., проф.</i> ЗЕЛЕНЦОВ Дмитро Гегемонович
Замісник головного редактора	<i>д.ф.-м.н., проф.</i> КОСОЛАП Анатолій Іванович
Відповідальний секретар	<i>к.т.н., доц.</i> ЛЯШЕНКО Оксана Анатоліївна

БОМБА Андрій Ярославович д.т.н., проф., ГНАТУШЕНКО Володимир Володимирович д.т.н., проф., ГОЛОДНОВ Олександр Іванович д.т.н., проф., КАІРОВ Олексій Сергійович д.т.н., проф., КОРОТКА Лариса Іванівна к.т.н., доц., ЛЯШЕНКО Віктор Павлович д.т.н., проф., МАТВІЙЧУК Андрій Вікторович д.е.н., проф., МУХІН Вадим Євгенович д.т.н., проф., НАУМЕНКО Наталія Юріївна к.т.н., доц., ОЛЕВСЬКИЙ Віктор Ісаакович д.т.н., проф., СОЛОДКА Наталія Олександрівна к.т.н., доц., ТАРАНЕНКО Юрій Карлович д.т.н., проф., ФЕДОРОВ Євген Євгенович д.т.н., проф., ФЕДОРОВИЧ Олег Євгенович д.т.н., проф., ХАРЧЕНКО Олександр Васильович д.х.н., проф.

М і ж н а р о д н а р е д а к ц і й н а к о л е г і я

B. VISHNU Vardhan (*India*), MAMEDOV Arif (*The Republic of Azerbaijan*), MILENIN Andrij (*Poland*), MUSAYEV Vidadi (*The Republic of Azerbaijan*), STAROVOITOV Eduard (*Republic of Belarus*), ZILINSKAS Julius (*Lithuania*), SHARY Sergey (*Russian Federation*)

Комп'ютерна верстка	Л.П. БУРМІСТР
Технічний редактор	Л.М. ТОНКОШКУР

Адреса редакції видавника збірника:

Україна, 49005, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 8
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
тел. (0562) 47-35-27, E-mail: cmaco@udhtu.edu.ua

Зареєстровано 28.02.2017 Міністерством юстиції України серія КВ № 22571-12471Р

**Рекомендовано до друку вченою радою ДВНЗ УДХТУ
(протокол № 9 від 29.11.2018)**

Оригінал-макет виготовлено редакцією журналу ДВНЗ УДХТУ.
Підписано до друку з готових форм 30.11.2018. Формат 60×84 1/8. Папір ксероксний.
Гарнітура Академічна. Друк різнограф. Умовн. друк. арк. 10,17. Обл. вид. арк. 10,21.
Тираж 300 прим. Замовлення № 486

Тираж віддруковано РВВ ДВНЗ УДХТУ,
м. Дніпро, пр. Гагаріна, 8, тел. (0562) 47-26-68
Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 5026 від 16.12.2015 р.

Дніпро 2018

Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад
«Український державний хіміко-технологічний університет»

Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація

2 (4), 2018

Збірник наукових праць

виходить
2 рази на рік

ЗМІСТ

Беляновська О.А., Литовченко Р.Д., Сухий К.М., Губинський М.В., Сухий М.П. Алгоритм розрахунку експлуатаційних характеристик адсорбційного регенератора теплоти та вологи	3
Дубницький В.І., Науменко Н.Ю., Білоброва Ю.О. Гнучка виробничо-логістична система: модель управління складом з дефіцитом	9
Зеленцов Д.Г. Нейронні мережі як засіб підвищення точності та ефективності розв'язання задач оптимізації	18
Кодола Г.М., Венедіктов Д.В. Про методи динамічної побудови графічного інтерфейсу користувача на основі структури прикладної онтології	27
Ляшенко О.А., Шулак В.О. Застосування функціонально-модульного підходу до проектування підсистеми визначення збалансованого раціону харчування	34
Мухін В.Є., Побережніченко В.Ю. Механізми групування та декомпозиції мережевих графів для підтримки експериментальних досліджень підсистем управління бізнес-процесами	45
Назаренко О.М., Назаренко І.А., Бахтін В.І., Кушнарєнко О.П. Оперативне моделювання водно-хімічного стану підприємства в умовах глобального потепління	54
Олевський В.І., Олевська Ю.Б. Стохастичне моделювання електрофорезу високомолекулярних речовин з використанням процесу Орнштейна-Уленбека	60
Рахманов С.Р., Вишинський В.Т., Пача С.В. Особливості функціонування робочої кліті автоматичного стану трубопрокатного агрегату	65
Старовойтов Е.І., Козел А.Г. Напружено-деформований стан тришарової кругової пластини, пов'язаної зі складною основою	73
Шелудько А.О., Коротка Л.І. Інформаційна підсистема формалізації нечіткої інформації у прикладних задачах	81
Відомості про авторів	89
Іменний покажчик	91

СОДЕРЖАНИЕ

Беляновская Е.А., Литовченко Р.Д., Сухой К.М., Губинский М.В., Сухой М.П. Алгоритм расчета эксплуатационных характеристик адсорбционного регенератора теплоты и влаги	3
Дубницкий В.И., Науменко Н.Ю., Белоброва Ю.О. Гибкая производственно-логистическая система: модель управления складом с дефицитом	9
Зеленцов Д.Г. Нейронные сети как средство повышения точности и эффективности решения задач оптимизации	18

<i>Кодола Г.Н., Венедиктов Д.В.</i> О методах динамического построения графического интерфейса пользователя на основе структуры прикладной онтологии	27
<i>Ляшенко О.А., Шулак В.А.</i> Применение функционально-модульного подхода к проектированию подсистемы определения сбалансированного рациона питания	34
<i>Мухин В.Е., Побережниченко В.Ю.</i> Механизмы группирования и декомпозиции сетевых графов для поддержки экспериментальных исследований подсистем управления бизнес-процессами	45
<i>Назаренко А.Н., Назаренко И.А., Бахтин В.И., Кушнарченко А.П.</i> Оперативное моделирование водно-химического состояния предприятия в условиях глобального потепления	54
<i>Олевский В.И., Олевская Ю.Б.</i> Стохастическое моделирование электрофореза высокомолекулярных веществ с использованием процесса Орнштейна-Уленбека	60
<i>Рахманов С.Р., Вышинский В.Т., Пача С.В.</i> Особенности функционирования рабочей клетки автоматического стана трубопрокатного агрегата	65
<i>Старовойтов Э.И., Козел А.Г.</i> Напряженно-деформированное состояние трехслойной круговой пластины, связанной со сложным основанием	73
<i>Шелудько А.А., Короткая Л.И.</i> Информационная подсистема формализации нечёткой информации в прикладных задачах	81
Сведения об авторах	89
Именной указатель	91

CONTENT

<i>Belyanovskaya E.A., Lytovchenko R.D., Sukhyy K.M., Gubinskyi M.V., Sukhyy M.P.</i> Calculation algorithm for adsorptive heat-moisture regenerator	3
<i>Dubnitsky V.I., Naumenko N.Yu., Bilobrova Y.O.</i> Flexible production and logistics system: a model of warehouse management with a deficit	9
<i>Zelentsov D.G.</i> Neural networks as a means of increasing the accuracy and efficiency of solving the optimization problems	18
<i>Kodola G.N., Veniediktov D.V.</i> About methods of dynamically constructing graphical user interface based on the structure of applied ontology	27
<i>Liashenko O.A., Shulak V.O.</i> Application of a functional-modular approach to designing a subsystem for determining the balanced diet	34
<i>Mukhin V.Ye., Poberezhnichenko V.Yu.</i> Mechanisms of grouping and decomposition of network graphics for support of experimental researches of business process management substances	45
<i>Nazarenko O.M., Nazarenko I.A., Bakhtin V.I., Kushnarenko O.P.</i> Operative modeling of the water-chemical mode of a company in the conditions of global warming	54
<i>Olevsky V.I., Olevskaya Yu.B.</i> Stochastic modeling of high-molecular substances electrophoresis using the Ornstein-Uhlenbeck process	60
<i>Rakhmanov S.R., Vyshynskiy V.T., Pacha S.V.</i> Features of functioning of the working stand of the automatic mill in the pipe-rolling unit	65
<i>Starovoitov E.I., Kozel A.G.</i> Stress-strain state of a three-layer circular plate connected with a complex base	73
<i>Sheludko A.A., Korotka L.I.</i> Information subsystem of formalization of fuzzy information in applied problems	81
Information about the authors	89
Name index	91

УДК 662.995

Беляновская Е.А.^а, Литовченко Р.Д.^а, Сухой К.М.^а, Губинский М.В.^б, Сухой М.П.^а

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АДСОРБЦИОННОГО РЕГЕНЕРАТОРА ТЕПЛОТЫ И ВЛАГИ

^а ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина^б Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина

Работа посвящена разработке эффективного алгоритма для расчета эксплуатационных характеристик адсорбционного регенератора теплоты и влаги для системы кондиционирования и вентиляции. Предлагается следующая методика расчета: вычисления объема воздуха, который прошел через слой теплоаккумулирующего материала, концентрации воды в воздухе на выходе из теплового аккумулятора, адсорбции, теплоты адсорбции, конечной температуры холодного воздуха, температуры воздуха после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха в помещении при подаче, расчет концентрации воды в воздухе на выходе из теплового аккумулятора, объема воздуха, который прошел через слой теплоаккумулирующего материала, конечной температуры теплого воздуха, температуры воздуха после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха из помещения при выбросе, определения температурного коэффициента полезного действия, суммарной адсорбции и времени достижения максимальной адсорбции. Показана корреляция абсолютной влажности и температур воздуха у теплого и холодного концов регенератора, а также температурных коэффициентов полезного действия, установленных по результатам расчетов согласно предложенного алгоритма и опытным путем. Проведено математическое моделирование процессов эксплуатации адсорбционных регенераторов теплоты и влаги на основе композитов «силикагель – натрий сульфат» в условиях типовой системы вентиляции жилых помещений. Установлено влияние на температурный коэффициент полезного действия времени переключения потоков воздуха, скорости движения потоков воздуха, а также абсолютной влажности и температур наружного и внутреннего воздуха в стационарных условиях. Максимальные значения тепловых коэффициентов полезного действия зарегистрированы при скорости влажного воздуха около 0,22–0,32 м/с и времени переключения потоков 5–10 мин. Показано влияние скорости движения потоков воздуха и его абсолютной влажности на время достижения максимальной адсорбции. Результаты проведенного исследования могут быть использованы при разработке энергоэффективных систем кондиционирования и вентиляции, а также модулей-осушителей для жилых и складских помещений.

Ключевые слова: адсорбционный регенератор теплоты и влаги, температурный коэффициент полезного действия, теплота адсорбции, композитный сорбент.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-3-8

Постановка проблемы

Одной из ключевых проблем эксплуатации систем теплоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве в странах с холодным климатом является периодическое возрастание концентрации диоксида углерода внутри помещения и, как следствие, нагрузки на отопление, а также

потери, обусловленные подогревом приточного воздуха и инфильтрацией холодного воздуха в помещении [1]. Обычным техническим решением можно считать подогрев приточного воздуха теплым, поступающим из помещения. Однако, в этих условиях происходит загрязнение приточного воздуха. В этих условиях перспектив-

ным решением является внедрение адсорбционного регенератора тепловой энергии и влаги. Но дальнейшую коммерциализацию этих устройств ограничивают как низкие сорбционные свойства традиционных адсорбентов, в частности, силикагеля и цеолитов, так и отсутствие алгоритма определения конструктивных и эксплуатационных характеристик регенераторов на их основе в условиях систем вентиляции и кондиционирования.

Анализ последних исследований и публикаций

Применение адсорбентов для кондиционирования и вентиляции жилых помещения предлагалось в последние несколько десятилетий [2,3]. Технология VENTIREG, разработанная в Институте катализа им. Г.К. Борескова, предполагает применение адсорбционного материала в качестве водного буфера [4]. Причем композитный адсорбент SWS-1A (оксид алюминия, импрегнированный хлоридом кальция) показал лучшие эксплуатационные характеристики, в частности, адсорбционные свойства по сравнению с традиционными диоксидом кремния и оксидом алюминия. Композитные материалы типа «соль в пористой матрице» являются перспективными для поглощения, аккумуляции и трансформации тепловой энергии в системах теплоснабжения [5,6]. Тем не менее, большинство математических моделей рассматривает лишь отдельные аспекты процессов эксплуатации адсорбционных модулей, преимущественно тепло- и массоперенос в процессе адсорбции [7]. Алгоритмы, позволяющие оценить эффективность эксплуатации теплоаккумулирующего устройства, относятся преимущественно к емкостным устройствам [8]. Поэтому становится актуальной задача разработки алгоритма расчета адсорбционного регенератора теплоты и влаги.

Формулирование цели исследования

Представленная работа посвящена разработке алгоритма расчета эксплуатационных характеристик адсорбционного регенератора теплоты и влаги.

Блок-схема предложенного алгоритма представлена на рис. 1. Алгоритм предусматривает расчет температурного коэффициента полезного действия:

$$\eta_{\text{тем}} = \frac{t_{\text{пр}} - t_{\text{внеш}}}{t_{\text{отр}} - t_{\text{внеш}}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{пр}}$ — температура приточного воздуха; $t_{\text{внеш}}$ —

температура внешнего воздуха; $t_{\text{отр}}$ — температура отработанного воздуха.

Температуру приточного воздуха определяли, как температуру после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха в помещении при подаче:

$$t_{\text{кон.ком.после смещ.}} = \frac{V_{\text{ком}} t_{0 \text{ ком}} + V_{\text{под}} t_{\text{кон.ком}}}{V_{\text{ком}} + V_{\text{под}}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{ком}}$ — объем комнаты, м^3 ; $t_{0 \text{ ком}}$ — начальная температура воздуха при выбросе из комнаты, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кон.ком}}$ — конечная температура воздуха при подаче, $^{\circ}\text{C}$; $V_{\text{под}}$ — объем воздуха, прошедшего через слой теплоаккумулирующего материала при подаче, м^3 .

Конечную температуру холодного воздуха при подаче определяли по уравнению теплового баланса:

$$t_{\text{кон.ул.}} = \frac{C' t_{0 \text{ ул.}} V_{\text{под}} + 4,19 t_{0 \text{ ул.}} V_{\text{под}} C_{0 \text{ ул.}} + \Delta H_{\text{адс.под}} M_{\text{сорб}}}{C' V_{\text{под}} + 4,19 V_{\text{под}} C_{\text{кон.ком}}}, \quad (3)$$

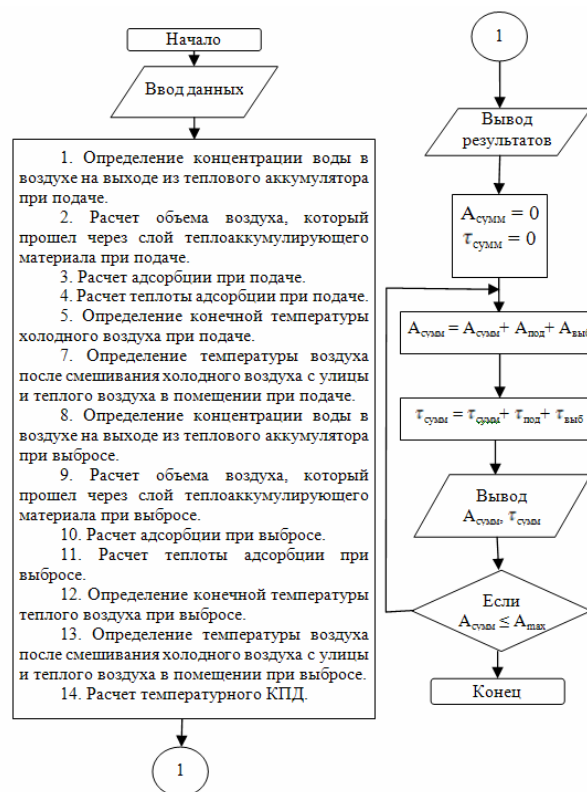


Рис. 1. Блок-схема расчета адсорбционного регенератора теплоты и влаги

где C' – теплоемкость воздуха, $\text{кДж/м}^3\cdot^\circ\text{C}$; $t_{0\text{ул}}$ – температура внешнего воздуха (у холодного конца регенератора); $C_{0\text{ул}}$ – начальная абсолютная влажность воздуха возле холодного конца регенератора, кг/м^3 ; $\Delta H_{\text{адс.под}}$ – теплота адсорбции при подаче, кДж/кг ; $M_{\text{сорб}}$ – масса адсорбента, кг ; $C_{\text{кон.ком}}$ – конечная абсолютная влажность при подаче, кг/м^3 .

Температуру отработанного воздуха определяли, как температуру после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха из помещения при выбросе:

$$t_{\text{кон.ул.после смещ.}} = \frac{V_{\text{ул}} t_{0\text{ул}} + V_{\text{выб}} t_{\text{кон.ул}}}{V_{\text{ул}} + V_{\text{выб}}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{ул}}$ – объем воздуха возле внешнего конца регенератора, м^3 ; $V_{\text{выб}}$ – объем воздуха, прошедшего через слой теплоаккумулирующего материала при выбросе, м^3 ; $t_{0\text{ул}}$ – начальная температура внешнего воздуха при выбросе из комнаты, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{кон.ул}}$ – конечная температура воздуха при выбросе, $^\circ\text{C}$:

Конечная температура теплого воздуха при выбросе определяется из уравнения теплового баланса:

$$t_{\text{кон.ул.}} = \frac{C' t_{0\text{ком}} V_{\text{выб}} + 4,19 t_{0\text{ком}} V_{\text{выб}} C_{0\text{ком}} + \Delta H_{\text{адс.выб}} M_{\text{сорб}}}{C' V_{\text{выб}} + 4,19 V_{\text{выб}} C_{\text{кон.ул}}}, \quad (5)$$

где C' – теплоемкость воздуха, $\text{кДж/м}^3\cdot^\circ\text{C}$; $t_{0\text{ком}}$ – температура внутреннего воздуха (возле теплого конца регенератора); $V_{\text{выб}}$ – объем воздуха, прошедшего через слой теплоаккумулирующего материала, при выбросе, м^3 ; $C_{0\text{ком}}$ – начальная абсолютная влажность воздуха возле теплого конца регенератора, кг/м^3 ; $\Delta H_{\text{адс.выб}}$ – теплота адсорбции при выбросе, кДж/кг ; $M_{\text{сорб}}$ – масса адсорбента, кг ; $C_{\text{кон.ул}}$ – конечная абсолютная влажность при выбросе, кг/м^3 .

Теплоту адсорбции при подаче либо выбросе рассчитывали согласно [9]:

$$\Delta H_{\text{адс}} = \Delta h \cdot a \frac{1000}{M}, \quad (6)$$

где Δh – теплота адсорбции, кДж/моль ; A – адсорбция при подаче либо выбросе, кг/кг ; M – молярная масса воды, г/моль .

Адсорбцию при подаче или выбросе рассчитывали аналогично [10]:

$$\Delta A = \frac{C_0 - C_{\text{кон}}}{M_{\text{сор}}} V, \quad (7)$$

где V – объем воздуха при подаче или выбросе, м^3 ; C_0 – начальная абсолютная влажность при подаче или выбросе, кг/м^3 ; $C_{\text{кон}}$ – конечная абсолютная влажность при подаче или выбросе, кг/м^3 ; $M_{\text{сор}}$ – масса адсорбента, кг .

Конечную абсолютную влажность на выходе из регенератора при подаче или выбросе определяли согласно [10]:

$$C_{\text{кон}} = \frac{C_0}{\frac{[\beta(-\tau \cdot w \cdot C_0) + H]}{\frac{A_{\text{max}}}{w}} + 1}}, \quad (8)$$

где C_0 – начальная абсолютная влажность при подаче или выбросе, кг/м^3 ; A_{max} – предельная адсорбция, кг/кг ; β – коэффициент массопереноса, с^{-1} ; w – скорость влажного воздуха, м/с ; H – высота слоя адсорбента; τ – продолжительность подачи или выброса, с .

Коэффициент массопереноса рассчитывали согласно работе [10]:

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{\beta_p} + \frac{1}{\beta_{\text{пр}}}, \quad (9)$$

где β_y , β_p и $\beta_{\text{пр}}$ – коэффициенты массоотдачи в газовой фазе, в продольном сечении и порах, с^{-1} .

Изложение основного материала исследования

Для апробации предложенного алгоритма расчета использованы экспериментальные данные, представленные в работе [11]. В качестве адсорбента использовано композит «силикагель – натрий сульфат», синтезированный согласно [11]. Результаты расчетов показали периодическую зависимость температур на теплом и холодном концах сорбционного регенератора, которая качественно соответствует опытным данным. Отклонение расчетных температур от экспериментальных не превышает $2-3^\circ\text{C}$ на холодном конце регенератора и $1-5^\circ\text{C}$ на теплом. Коэффициент полезного действия регенератора по экспериментальным данным составил примерно 95%, а по расчетным примерно 91%.

Таким образом, данную математическую модель можно использовать для качественной оценки эксплуатационных характеристик сорбционных регенераторов в вентиляционных системах.

Предлагается использовать сорбционный регенератор для подогрева приточного воздуха в условиях обычной трехкомнатной квартиры с электрическими кухонными плитами, общей площадью 103 м², высотой 2,5 метра. В качестве адсорбционного материала предложено использовать композит, содержащий 20% силикагеля и 80% натрия сульфата. Согласно результатам проведенного расчета тепловая нагрузка для подогрева приточного воздуха составляет около 327,9 МДж в сутки.

Масса сорбента соответствует тепловой нагрузке и составляет по расчетам 94 кг, а объем 0,130 м³. Таким образом, будет оптимальным вариантом установить в схему 3-х комнатной квартиры 4-х сорбционные регенераторы. Тогда масса сорбента на регенератор составляет 24 кг.

В условиях типичного жилого помещения температурные кривые на теплом и холодном концах регенератора проявляют периодическую

природу. Причем с уменьшением времени переключения (изменения направления) потоков наблюдается существенное снижение амплитуды зависимостей «температура–время», как на теплом, так и на холодном концах устройства. Это способствует повышению коэффициента полезного действия (рис. 2, 3). Максимальные значения коэффициентов полезного действия наблюдаются при скоростях потока влажного воздуха 0,22–0,32 м/с и времени переключения потоков около 5–10 мин.

Время достижения максимальной адсорбции от времени переключения потоков почти не зависит. Более существенно влияет на него скорость потока влажного воздуха, что связано с количеством поданного воздуха.

Также на эффективность работы теплоаккумулирующего устройства влияют метеорологические условия, то есть температура наружного воздуха, с увеличением которой повыша-

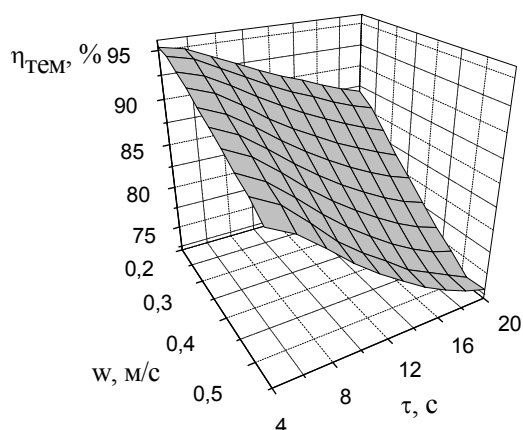


Рис. 2. Влияние скорости потока влажного воздуха и времени переключения потоков на температурный коэффициент полезного действия адсорбционного регенератора

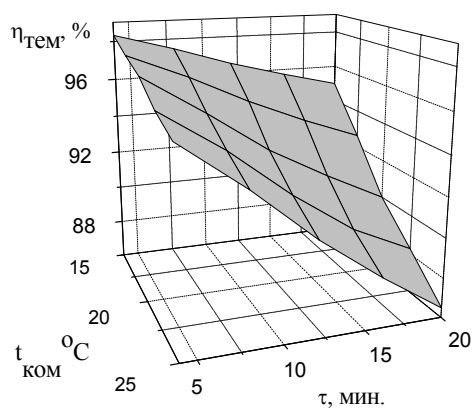


Рис. 3. Влияние температуры влажного воздуха в комнате и времени переключения потоков на температурный коэффициент полезного действия адсорбционного регенератора

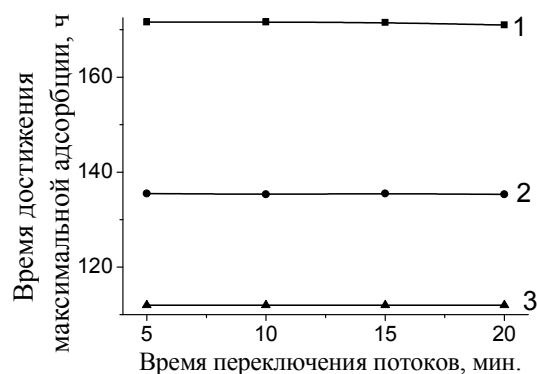
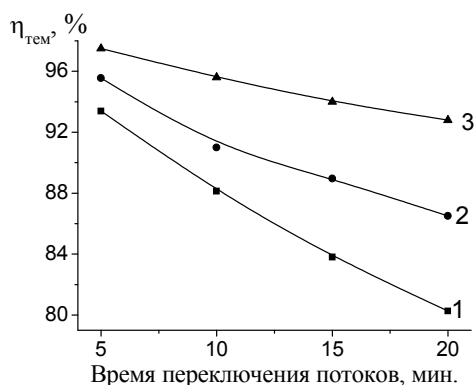


Рис. 4. Влияние абсолютной влажности внешнего воздуха на температурный КПД (а) и время достижения максимальной адсорбции (б). Абсолютная влажность внешнего воздуха, г/м³: 1 – 4,5; 2 – 6,5; 3 – 8,5

ється коефіцієнт полезного действия регенератора (рис. 3). Аналогичным образом влияет на температурный коэффициент полезного действия повышение абсолютной влажности наружного воздуха (рис. 4,а). Это сопровождается, очевидно, увеличением скорости адсорбционных процессов и уменьшением времени достижения максимальной адсорбции (рис. 4,б). Температура наружного воздуха на продолжительность достижения максимальной концентрации почти не влияет. Снижение температуры в комнате способствует повышению коэффициента полезного действия.

Выводы

Проведено исследование процессов эксплуатации системы вентиляции на основе сорбционного регенератора теплоты и влаги. Разработана методика определения основных конструктивных характеристик сорбционного регенератора в условиях системы вентиляции в жилых помещениях.

Показана зависимость величины температурного коэффициента полезного действия от скорости паровоздушного потока и времени переключения потоков. Максимальные значения коэффициентов полезного действия наблюдаются при скоростях потока влажного воздуха 0,22–0,32 м/с и времени переключения потоков около 5–10 мин.

Установлена зависимость температурного коэффициента полезного действия от температур наружного и внутреннего воздуха. Показан рост коэффициента полезного действия при увеличении температур наружного воздуха в интервале от -25 до -3°C .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Östlin R. Evaluation of a Single Family Low Energy Building in Cold Climate // *Energy Procedia*. – 2017. – Vol.132. – P.9-14.
2. Al-Alili A., Hwang Yu., Radermacher R. Review of solar thermal air conditioning technologies // *Int. J. Refrigeration*. – 2014. – Vol.39. – P.4-22.
3. Ge T.S., Li Y., Wang R.Z., Dai Y.J. A review of the mathematical models for predicting rotary desiccant wheel // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2008. – Vol.12. – P.1485-1528.
4. Aristov Yu I. Current progress in adsorption technologies for low-energy buildings // *Future Cities and Environment*. – 2015. – Vol.1. – № 10. – P.1-13.
5. Sorption heat storage for long-term low-temperature applications: A review on the advancements at material and

prototype scale / Scapino L., Zondag H.A., Van Bael J., Diriken J., Rindt C.C. M. // *Applied Energy*. – 2017. – Vol.190. – P.920-948.

6. Grekova A.D., Gordeeva L.G., Aristov Y.I. Composite “LiCl/vermiculite” as advanced water sorbent for thermal energy storage // *Applied Thermal Engineering*. – 2017. – Vol.124. – P.1401-1408.

7. Multi-physical continuum models of thermochemical heat storage and transformation in porous media and powder beds—A review / Thomas Nagel, Steffen Beckert, Christoph Lehmann, Roger Gläser, Olaf Kolditz // *Applied Energy*. – 2016. – Vol.178. – P.323-345.

8. Ганжа И.Г., Хименко А.Г. Тепловое аккумулирование как способ повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. – 2012. – № 3(97). – С.16-21.

9. Сухой К.М., Коломиец Е.В., Беляновская Е.А. Алгоритм расчета эксплуатационных характеристик адсорбционного аккумулятора тепловой энергии для системы децентрализованного отопления // *Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація: збірник наукових праць*. – 2016. – № 1(1). – С.65-69.

10. Operating processes parameters of open-type heat storage devices in heat supply systems / Belyanovskaya E.A., Sukhyi K.M., Kolomiets O.V., Sukhyi M.P. // *Наукові праці ОНАХТ*. – 2017. – Т.81. – Вип. 1. – С.4-9.

11. Operating characteristics of adsorptive regenerator of low-potential heat and moisture based on composite sorbents ‘silica gel – sodium sulphate and silica gel – sodium acetate’ synthesized by sol – gel method / O.V. Kolomiets, K.M. Sukhyi, E.A. Belyanovskaya, V.I. Tomilo, O.M. Prokopenko // *Наукові праці ОНАХТ*. – 2016. – Т.80. – Вип.1. – С.108-113.

Поступила в редакцію 2.11.2018

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АДСОРБЦІЙНОГО РЕГЕНЕРАТОРА ТЕПЛОТИ ТА ВОЛОГИ

Беляновська О.А., Литовченко Р.Д., Сухий К.М., Губинський М.В., Сухий М.П.

Робота присвячена розробці ефективного алгоритму для розрахунку експлуатаційних характеристик адсорбційного регенератора теплоти та вологи для системи кондиціонування та вентиляції. Пропонується наступна методика розрахунку: обчислення об'єму повітря, яке пройшло через шар теплоакуючого матеріалу, концентрації води в повітрі на виході з теплового акумулятора, адсорбції, теплоти адсорбції, кінцевої температури холодного повітря, температури повітря після змішування холодного повітря з вулиці та теплового повітря в приміщенні при подачі, розрахунок концентрації води в повітрі на виході з теплового акумулятора, об'єму повітря, який пройшов через шар теплоакуючого матеріалу, кінцевої температури теплового повітря, температури повітря після змішування холодного повітря з вулиці та теплового повітря з приміщення при викиді, визначення температурного коефіцієнта корисної дії, сумарної адсорбції та часу досягнення максимальної адсорбції. Показана кореляція абсолютної вологості та температур повітря біля теплового та холодного кінців регене-

ратора, а також температурних коефіцієнтів корисної дії, встановлених за результатами розрахунків згідно з запропонованим алгоритмом та дослідним шляхом. Виконано математичне моделювання процесів експлуатації адсорбційних регенераторів теплоти та вологи на основі композитів «силікагель — натрій сульфат» в умовах типової системи вентиляції житлових приміщень. Встановлено вплив на температурний коефіцієнт корисної дії часу перемикання потоків повітря, швидкості руху потоків повітря, а також абсолютної вологості та температур зовнішнього і внутрішнього повітря в стаціонарних умовах. Максимальні значення теплових коефіцієнтів корисної дії зареєстровано при швидкості вологого повітря близько 0,22–0,32 м/с та часу перемикання потоків 5–10 хв. Показано вплив швидкості руху потоків повітря та його абсолютної вологості на час досягнення максимальної адсорбції. Результати здійсненого дослідження можуть бути використані при розробці енергоефективних систем кондиціонування та вентиляції, а також осушуючих модулів для житлових і складських приміщень.

Ключеві слова: адсорбційний регенератор теплоти та вологи, температурний коефіцієнт корисної дії, теплота адсорбції, композитний сорбент.

CALCULATION ALGORITHM FOR ADSORPTIVE HEAT-MOISTURE REGENERATOR

Belyanovskaya E.A.^a, Lytovchenko R.D.^a, Sukhyi K.M.^a, Gubinskyi M.V.^b, Sukhyi M.P.^a

^a Ukrainian State University of Chemical Engineering, Dnipro, Ukraine

^b National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

The work is devoted to the development of an efficient algorithm for calculating the performance characteristics of adsorption regenerator of heat and moisture for the air conditioning and ventilation system. The following calculation method is proposed: the calculation of the volume of air passing through the layer of heat-accumulating material, the concentration of water in the flow at the exit from the thermal accumulator, the adsorption, the heat of adsorption, the final temperature of the cold air, the air temperature after mixing the cold air from the street and the warm air in the room at the inlet, the calculation of the concentration of water in the flow at the exit from the heat accumulator, the volume of air passing through the layer of heat-accumulating material, the final temperature of the warm district air temperature after mixing the cold air from the street and the warm air from the room at the outlet, determining the temperature coefficient of efficiency, total adsorption and time to achieve maximum adsorption. The correlation of absolute humidity and air temperatures near the warm and cold extremities of the regenerator, as well as the temperature coefficients of efficiency established according to the results of calculations using proposed algorithm and research method, is shown. The mathematical modeling of the processes of operation of adsorption regenerators of heat and moisture on the basis of «silica gel — sodium sulfate» composites in the conditions of the typical ventilation system of residential premises is carried out. Influence on the temperature coefficient of efficiency of air flows switching time, air velocity, as well as absolute humidity and temperature of external and internal air under stationary conditions is established. The maximum values of thermal efficiency coefficients were recorded at the velocity of humid air of about 0.22–0.32 m/s and the switching time of 5–10 minutes. The effect of the velocity are shown of moist air flow and the absolute humidity of the wet air at the time of reaching maximum adsorption are shown. The results of the study can be used in the development of energy efficient air conditioning and ventilation systems, as well as drainage modules for residential and warehouse facilities.

Keywords: adsorption regenerator of heat and moisture, temperature coefficient of efficiency, heat of adsorption, composite sorbent.

REFERENCES

1. Östin R. Evaluation of a Single Family Low Energy Building in Cold Climate. *Energy Procedia*, 2017, vol.132, pp.9–14.
2. Al-Alili A., Hwang Yu., Radermacher R. Review of solar thermal air conditioning technologies. *Int. J. Refrigeration*, 2014, vol.39, pp.4–22.
3. Ge T.S., Li Y., Wang R.Z., Dai Y.J. A review of the mathematical models for predicting rotary desiccant wheel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, vol.12, pp.1485–1528.
4. Aristov Yu.I. Current progress in adsorption technologies for low-energy buildings. *Future Cities and Environment*, 2015, vol.1, №10, pp.1–13.
5. Scapino L., Zondag H.A., Van Bael J., Diriken J., Rindt C.C. M. Sorption heat storage for long-term low-temperature applications: A review on the advancements at material and prototype scale. *Applied Energy*, 2017, vol.190, pp.920–948.
6. Grekova A.D., Gordeeva L.G., Aristov Y.I. Composite “LiCl/vermiculite” as advanced water sorbent for thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 2017, vol.124, pp.1401–1408.
7. Nagel T., Beckert S., Lehmann Ch., Gläser R., Kolditz O. Multi-physical continuum models of thermochemical heat storage and transformation in porous media and powder beds — A review. *Applied Energy*, 2016, vol.178, pp.323–345.
8. Ganga I.G., Khiminko A.G. *Teplovoe akumulirovanie kak sposob povysheniya energeticheskoy effektivnosti sistem teplosnabzheniya* [Heat storage as a method of enhancing of energy efficiency of heat supply system]. *Energoberegenie. Energetika. Energoaudit*. 2012, №03 (97), pp.16–21 (in Russian).
9. Sukhyi K.M., Kolomiyets E.V., Belyanovskaya E.A. Algoritm rastcheta ekspluatatsionnykh kharakteristik adsorbtsionnogo akkumulyatora teplovoy energii dlya systemy detsentralizovannogo otopleniya [Calculation algorithm of operational characteristics of adsorptive heat storage device for decentralized space heating system]. *Kompiuternye modeluvannya, analys, upravlinnya, optimizatsiya* [Computer modeling: analysis, control, optimization]: *zhurnal naukovykh prats*, 2016, №1(1), pp.65–69. (in Russian)
10. Belyanovskaya E.A., Sukhyi K.M., Kolomiyets O.V., Sukhyi M.P. Operating processes parameters of open-type heat storage devices in heat supply systems. *Scientific works of Odessa National Academy of Food Technology*, 2017, vol. 81, №1, pp.4–9.
11. Kolomiyets O.V., Sukhyi K.M., Belyanovskaya E.A., Tomilo V.I., Prokopenko O.M. Operating characteristics of adsorptive regenerator of low-potential heat and moisture based on composite sorbents ‘silica gel — sodium sulphate and silica gel — sodium acetate’ synthesized by sol — gel method. *Scientific works of Odessa National Academy of Food Technology*, 2016, vol.80, pp.108–113.

УДК 338.45:330.105:519.248

Дубницький В.І.^а, Науменко Н.Ю.^а, Білоброва Ю.О.^б

ГНУЧКА ВИРОБНИЧО-ЛОГІСТИЧНА СИСТЕМА: МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ З ДЕФІЦИТОМ

^а ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна^б Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро, Україна

Сучасні умови функціонування підприємств в рамках ринкової економіки, а також в умовах невизначеності та нестійкості зовнішнього середовища вимагають нових, високо ефективних засобів і методів управління його господарською діяльністю. В роботі розглядається частинна задача моделювання роботи гнучкої виробничо-логістичної системи (ГВЛС) з використанням класу моделей, які ґрунтуються на базі управляючих систем масового обслуговування (СМО), що дозволяють отримати достатньо велику кількість характеристик, які використовуються при відшукуванні оптимальних параметрів ГВЛС, – моделювання роботи складу підприємства моделлю системи масового обслуговування з пороговим включенням і обмеженими ресурсами. В роботі відмічено, що важливим недоліком сучасних підходів до організації виробництва є той факт, що всі технологічні системи розглядаються як ідеальні системи, тобто детерміновані. Спостереження за реальними об'єктами, які відносяться до складних систем, демонструє, що вони функціонують в умовах дії великої кількості випадкових факторів, тому передбачення поведінки її може мати сенс тільки в межах ймовірнісних категорій. Наданий граф станів системи з пороговим включенням дозволяє виконати орієнтацію приладу (простіший потік вимог інтенсивності λ). Показано, що матеріальний потік можна класифікувати за ступенем змінності. За цим принципом розрізняють стаціонарні та нестаціонарні потоки, а також ординарні та неординарні потоки. Виділено алгоритм обслуговування. В роботі припускається, що виконання замовлення на виготовлення того чи іншого виду продукції відбувається в порядку надходження. Отримана узагальнена модель утворення запасів, яка зв'язує логістичний ланцюг «підприємство – склад» та становить функціонал витрат. Використання інструментарію виробничої логістики в поєднанні з ідеологією моделювання логістичних моделей складу з визначенням його оптимальних, з точки зору підприємства, параметрів реалізовано, зокрема, в моделі управління складом з дефіцитом. Запропоновано в роботі використовувати клас моделей для моделювання роботи складів підприємства, які засновані на базі керованих систем масового обслуговування, які дозволяють отримувати достатньо велике число характеристик, що використовуються при знаходженні оптимальних параметрів гнучких виробничо-логістичних систем, які в змозі швидко реагувати на кон'юнктуру ринку.

Ключові слова: модель управління складом з дефіцитом, гнучка виробничо-логістична система, системи масового обслуговування, система «підприємство – склад», управління підприємством, граф станів.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-9-17

Постановка проблеми

Становлення України, як держави з ринковою економікою вимагає від підприємства (крупні компанії) співвідносити свої потреби та

витрати, економити суспільні ресурси. Це, в свою чергу, висуває підвищені вимоги до управління підприємством, змушуючи їх проявляти гнучкість і прилаштовуватись до зовнішніх

факторів, тим самим забезпечуючи їх максимальну ефективність. Потреби в регулярних змінах номенклатури продукції, що випускається, обумовлює необхідність побудови достатньо ефективної системи управління підприємством, розробки нових економіко-математичних моделей і підходів до її реалізації.

При цьому, під організаційно-економічною стійкістю розуміється здатність підприємства зберігати виробничо-фінансову стабільність при постійному застосуванні ринкової кон'юнктури шляхом удосконалення та цілеспрямованого розвитку його виробничо-технологічної та організаційної структури методами логістично-орієнтованого управління.

Згідно з вищевикладеним, достатньо актуальним є перехід від традиційної концепції управління підприємством до нової найбільш прогресивної логістичної концепції управління виробництвом, яка включає:

- відмову від надмірних запасів;
- виключення простою обладнання;
- виключення нерациональних внутрішньовиробничих перевезень;
- відмову від виготовлення партій деталей, сборки та готової продукції, на які немає замовлень покупців.

Як відмічено в роботах вчених, які становлять вітчизняну наукову школу логістики професора Крикавського Є.В. [1,2], логістика в рамках підприємства пропонує перенести акцент зі створення запасів готової продукції на створення запасів виробничих потужностей, тобто перейти до створення та організації виробництва за типом гнучких виробничо-логістичних систем (ГВЛС), які можуть швидко реагувати на кон'юнктуру ринку. При цьому зниження вартості продукції досягається в результаті логістичної організації виробничого процесу, ув'язки та синхронізації всіх матеріальних потоків.

Важливим недоліком сучасних підходів до організації виробництва є і той факт, що всі технологічні системи розглядаються як ідеальні системи, тобто детерміновані. Спостереження за реальними об'єктами, які відносяться до складних систем, демонструє, що вони функціонують в умовах дії великої кількості випадкових факторів, тому передбачення їх поведінки може мати сенс тільки в межах ймовірнісних категорій.

Отже, до однієї з проблем, яка розглядається в даному дослідженні, відноситься питання, яке постає перед ГВЛС, а саме: побудова логістичних моделей складу, які функціонують в межах системи «підприємство–склад» і визначен-

ня їх оптимальних, з точки зору підприємства, параметрів, наприклад, моделі управління складом з дефіцитом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми моделювання гнучких виробничо-логістичних систем існують в сучасних умовах економіки підприємств України та досліджуються в роботах вітчизняних вчених, насамперед Лисенко Ю.Г. [3], Румянцева М.В. [4–7], Петренко В.Л. [3], Ніколайчука В.Є. [8,9], Крикавського Є.В. [1,2], Чухрай Н.І. [1].

Формулювання цілей статті

Метою даного дослідження є підвищення ефективності управління підприємством за рахунок нових процесів, в тому числі використання механізмів, які забезпечують організаційно-економічну стійкість ГВЛС.

Виклад основного матеріалу дослідження

Відомо, що для синхронізації та стабілізації роботи дискретного та неперервного виробництва необхідне утворення запасів. У зв'язку з цим виникає проблема визначення оптимальної стратегії управління запасами, яка полягає у визначенні оптимального, в деякому розумінні, моменту поставки (запасання) та обсягу продукції, що поставляється. Слід відмітити той факт, що визначення оптимальної стратегії утворення запасів, спочатку і по сьогодні, відбувалось незалежно від основного виробництва, для якого спочатку і утворювались самі запаси. Це означало, що при побудові моделі часто автори абстрагувались від технології основного виробництва, його особливостей. Ця тенденція зберігається і до цього часу. Однак дослідження, здійснені в останні роки, показали, що на даному етапі розвитку економіки склались нові умови виробництва, які вийшли за рамки традиційних методів його організації і які стали гальмувати розвиток промислового виробництва. Для розв'язання проблем, які виникають як на етапі виробництва, так і на етапі реалізації промислової продукції і була застосована логістика, яка в корені перевернула уявлення про виробництво та розподіл. Так, наприклад, задача повного завантаження потужностей замінюється задачею мінімізації строків обігових засобів підприємства. Задача утримання запасів матеріальних ресурсів замінюється задачею забезпечення інформацією про їх придбання та управління вільними логістичними потужностями для їх переробки. Задача зниження собівартості замінюється задачею більш повного задоволення попиту [3].

Матеріальний потік на шляху слідування

від складу матеріальних ресурсів до складу готової продукції протікає в основному виробництві кілька ланок. Управління матеріальними та інформаційними потоками на цьому етапі має специфічні особливості та вивчаються вони виробничою логістикою. Мета виробничої логістики полягає в точній синхронізації процесу виробництва, розрахунку його оптимальних параметрів. Для розв'язання поставленої задачі необхідний розгляд нового класу моделей, які найбільш повно задовольняють вищевказаним особливостям виробництва в ринкових умовах. В даній роботі запропоновано моделювати роботу системи «склад—підприємство» моделлю системи масового обслуговування з обмеженим ресурсом. Це означає, що робота підприємства моделюється наступним чином: на вхід системи (підприємства) поступає випадковий потік замовлень на виготовлення продукції, тривалість якої випадкова. Цей потік визначається величиною попиту на виготовлену продукцію. Припускається, що прилад може обслуговувати тільки скінчене число деталей, тобто він має обмежені можливості, які визначаються розміром складу. Як тільки склад спустошується, приймається рішення щодо поставки нової партії товару розміром m . Проблема полягає в тому, щоб, виходячи із визначеного функціоналу вартості (або функціоналу збитків), визначити мінімальний розмір партії поставки m .

В умовах динамічної конкуренції ефективність роботи підприємства знаходиться в прямій залежності від того, як швидко реагує воно на постійні зміни в зазначених двох сферах: у сфері забезпечення та сфері збуту. У цих умовах успіх підприємства залежить від швидкості його реагування на постійні зміни у зовнішній інфраструктурі. У зв'язку з цим, підприємство повинно мати якісь механізми і моделі управління, які дозволяють здійснювати адаптацію його до мінливих зовнішніх умов. Це означає, що підприємство має перебувати в постійному взаємозв'язку з постачальниками виробничих ресурсів і споживачами готової продукції [8,9].

Сучасні умови функціонування промислового підприємства в умовах невизначеності і нестійкості зовнішнього середовища вимагають нових, вискоєфективних способів і методів управління його господарською діяльністю.

Відомо, що для синхронізації і стабілізації роботи дискретного і безперервного виробництва необхідно створення запасів. В зв'язку з цим виникає проблема визначення оптимальної стра-

тегії управління запасами, яка полягає у визначенні оптимального, в деякому сенсі, моменту поставки (запасання) і обсягу продукції, що поставляється. Матеріальний потік на шляху проходження від складу готової продукції проходить в основному виробництві низку ланок, що показують матеріали досліджень (Бланшар Д. [10], Бауерсокс Д.Дж., Клосс Д.Дж. [11], а також Ліндерс М.Р., Фірон Х.Е. [12], Рижиков Ю.І. [4]).

Є доцільним розглянути частинну задачу управління складами, тобто моделювання роботи складу підприємства моделлю системи масового обслуговування з пороговим включенням і обмеженим ресурсом. Раніше ці частинні задачі розглянуті в роботах [5–7,13,14].

Припустимо, що на вхід логістичної системи надходить найпростіший потік вимог (заготовок) інтенсивності $\lambda > 0$. Час обробки (обслуговування) кожної деталі будемо вважати випадковим, розподіленим за показовим законом з параметром $\mu > 0$. Прилад обслуговування володіє обмеженим ресурсом і здатний без перерви обслуговувати лише кінцеве число m вимог, після чого він йде на переорієнтацію, тривалість якої має показовий закон розподілу з параметром $\nu > 0$. Орієнтація приладу відбувається у відповідності до схеми (рисунк), тобто передбачається, що прилад починає переналагодження в той момент, коли в системі є k вимог і тільки після її закінчення він здатний до обслуговування нової партії деталей. Мають місце два випадки, коли $k \leq m$ і $k > m$. Обмежимося надалі розглядом першого випадку, а саме, коли $k \leq m$.

Розігріву або орієнтації приладу можна дати іншу інтерпретацію, відповідно до якої розігрів приладу можна розглядати як час доставки товару на склад. Тому можна розглянути наступну модель управління запасами, а саме:

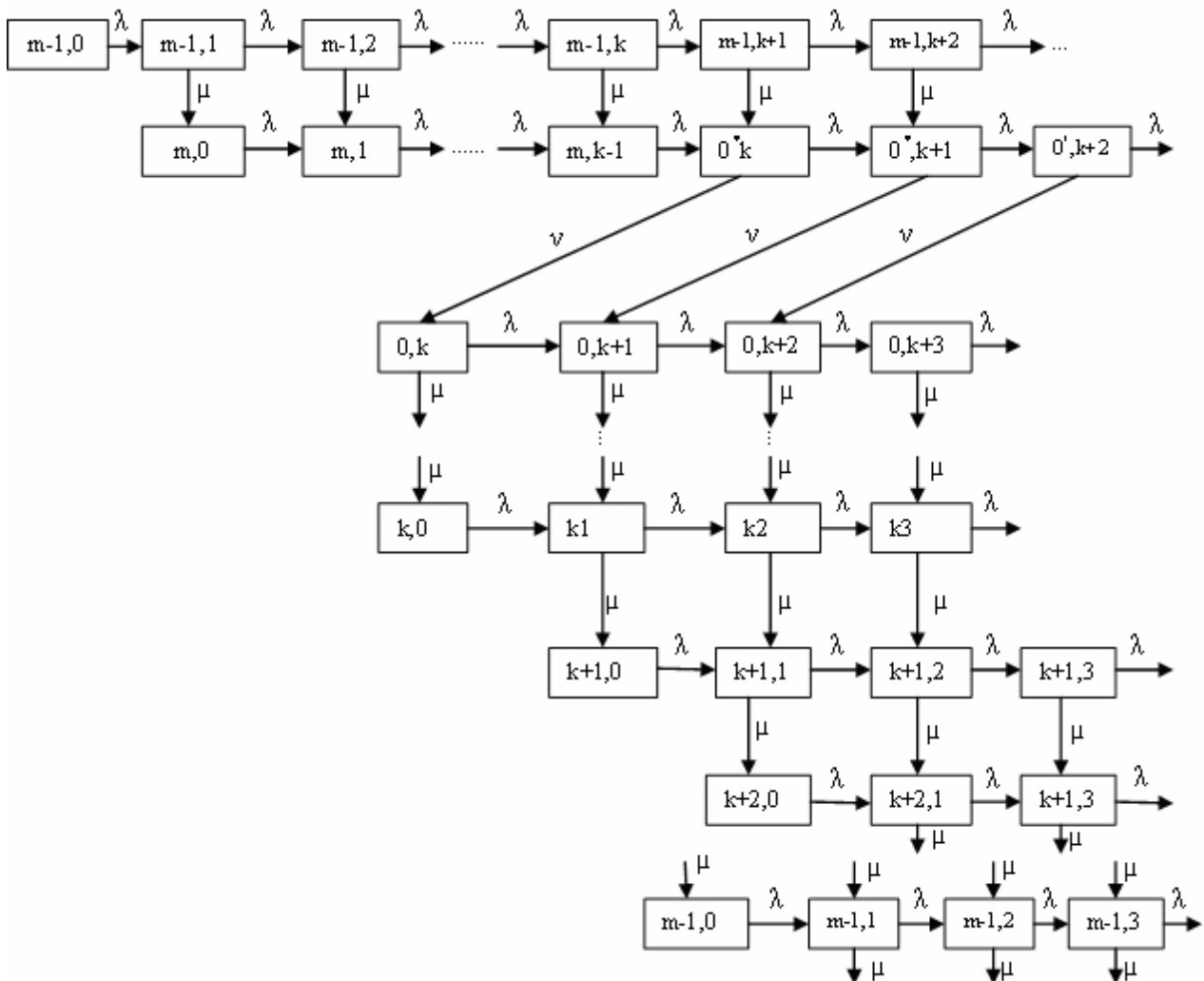
- є однопроводковий склад, постачання товару (запасних частин, комплектуючих виробів та ін.) на який здійснюється не миттєво, а має випадкову тривалість, функція розподілу якої збігається з часом розігріву зазначеної системи масового обслуговування;

- поставка продукції (товару) починається коли в черзі до приладу, що обробляється, знаходиться k вимог;

- інтенсивність попиту на товар визначається технологічним процесом обробки деталей;

- деталі (продукція, товар) поставляються фіксованим обсягом, розміру m ;

- вартість поставки (замовлення) партії товару постійна і не залежить від обсягу постав-



Граф станів системи з пороговим включенням [5]

ки товару;

– вартість зберігання товару пропорційна середньому обсягу товару, що зберігається на складі, і часу зберігання товару. Тоді функція витрат в описаній системі за час t дорівнює:

$$L(t, m, \lambda, \mu, v, \theta) = C_{\text{за}} \cdot P^*(m, \lambda, \mu, v, \theta) + C_{\text{зб}} \cdot q_{\text{зб}}(m, \lambda, \mu, v, \theta) \cdot t_2 + C_{\text{оч}} \cdot q(m, \lambda, \mu, v, \theta) \cdot t, \quad (1)$$

де $C_{\text{за}}$ – вартість поставки однієї партії товару; $P^*(m, \lambda, \mu, v, \theta)$ – ймовірність того, що прилад розігрівається, або в термінах теорії запасів це ймовірність того, що на підприємстві здійснюється поставка товару, покупних виробів або запасних частин; $C_{\text{зб}}$ – вартість зберігання одиниці продукції в одиницю часу; $q_{\text{зб}}(m, \lambda, \mu, v, \theta)$ – середній розмір запасу деталей (комплектуючих) або іншого виду сировини, що знаходяться на складі; $C_{\text{оч}}$ – втрати від очікування у черзі однієї

заявки в одиницю часу; $q(m, \lambda, \mu, v, \theta)$ – середня довжина черги до обслуговуючого приладу.

1. Матеріальні потоки можна класифікувати за ступенем мінливості. За цим принципом розрізняють стаціонарні та нестаціонарні потоки, одинарні та неординарні потоки.

Потік називають стаціонарним, якщо ймовірні характеристики процесу $\xi(t)$ не залежать від моменту початку звіту часу, тобто якщо позначити через $\xi(t_0, t)$ – число деталей, що надійшли за час t в інтервалі $(t_0, t_0 + t)$, а $\xi(t_1, t)$ число деталей, що надійшли в інтервалі часу $(t_1, t_1 + t)$, то розподіл випадкових величин $\xi(t_0, t)$ і $\xi(t_1, t)$ збігаються за умови, що інтервали часу $(t_0, t_0 + t)$ і $(t_1, t_1 + t)$ не перетинаються.

Матеріальний потік називають одинарним, якщо в будь-який досить малий проміжок часу не може надійти більше однієї деталі (або партії деталей) в прийнятому вимірі.

На практиці часто передбачається відсутність наслідків в матеріальному потоці. Це означає, що надходження вимог в проміжку (t_0, t_1) ніяк не впливає на їх надходження в проміжку (t_2, t_3) , де $(t_1 < t_2)$.

2. Прилади обслуговування. Обслуговуючі прилади в системі масового обслуговування ідентифікуються зі склянками, конвейєрними лініями або іншим видом обладнання, необхідним для виконання виробничого циклу. З організаційно-функціональної точки зору під приладом обслуговування можна розуміти цех або всі підприємства в цілому. Обслуговуючі прилади надалі будемо називати просто обладнання або прилад. Дисципліна обслуговування визначає порядок, правило або алгоритм обслуговування (обробки) вимог або замовлень. Правило і час обслуговування заявок в основному визначаються виробничо-технологічним циклом обробки того чи іншого виду продукції. Можна вважати, що в загальному випадку час обслуговування заявок є величиною випадковою, закон розподілу якої для кожного конкретного виду продукції може бути визначений.

Надалі будемо припускати, що число приладів обслуговування (або верстатів) дорівнює n ($n \geq 1$) і всі вони ідентичні. Передбачається, що є додатково n_1 приладів обслуговування, які можуть бути використані в разі потреби і які утворюють резерв, який як правило, знаходиться в холодному стані. Для переходу приладів в робочий стан необхідно деякий, в загальному випадку, випадковий час при цьому підприємство змушене нести певні додаткові витрати. Для забезпечення роботи підприємства по виконанню отриманого замовлення необхідно мати ресурси, як трудові, так і матеріальні. Питання постачання цих двох видів ресурсів можна моделювати як «розігрів», підготовку або затримку системи, що складається з $n+n_1$ приладів. Будемо вважати, що наявний матеріальний ресурс здатний забезпечити виконання не всього наявного замовлення, а тільки його частини, наприклад m заявок (m – величина випадкова чи ні), після чого необхідно знову вирішувати питання про постачання підприємства матеріальними ресурсами.

3. Алгоритм обслуговування. Будемо вважати, що виконання замовлення на виготовлення того чи іншого виду продукції відбувається в порядку надходження. Однак можливі випадки, коли деякі заявки можуть утворювати пріори-

тетні черги. Алгоритм виконання замовлення відбувається наступним чином: якщо будь-який прилад закінчив виконання замовлення, то він може або приступити до виконання нового замовлення, або перейти в резерв, причому при цьому підприємство несе деякі збитки, пов'язані з відключенням приладів. Навпаки, якщо прилад знаходився в резерві, то в момент приходу нового замовлення вирішується питання про те, чи повинен він включитися в обслуговування нової партії заявок або залишитися в резерві. Якщо на підприємстві відсутні замовлення, то прилади вимикаються і витрачається черговий ресурс на відключення і включення їх знову в робочий стан.

Як вже говорилося раніше, розігріву або орієнтації приладу можна дати іншу інтерпретацію, відповідно до якої розігрів приладу можна розглядати як час доставки товару на склад.

Нехай, як зазвичай, $P^*(m, \lambda, \mu, \nu, \theta)$ – ймовірність того, що прилад розігрівається; $P_{\text{зан}}(m, \lambda, \mu, \nu, \theta)$ – ймовірність того, що прилад зайнятий обслуговуванням вимог. Очевидно, що в цей час на складі є позитивний запас товару.

Розглянемо випадок: сумарні витрати зберігання запасів за час t складаються з витрат на поставку товару, на зберігання і витрати, пов'язані з очікуванням початку обслуговування (або витрати, пов'язані з дефіцитом) і які мають вигляд (1).

Розділивши формулу (1) на t і спрямувавши його до нескінченності, отримаємо вираз для функціонала середньої вартості витрат в одиницю часу:

$$L(m, \lambda, \mu, \nu, \theta) = C_{\text{зак}} \cdot P^*(m, \lambda, \mu, \nu, \theta) + C_{\text{зб}} \cdot q_{\text{зб}}(m, \lambda, \mu, \nu, \theta) \cdot P_{\text{зан}}(m, \lambda, \mu, \nu, \theta) + C_{\text{оч}} \cdot q(m, \lambda, \mu, \nu, \theta), \quad (2)$$

Отже, у подальшому дана задача полягає в знаходженні значення m , при якому вираз (2) приймає мінімальне значення, при заданих характеристиках m, λ, μ, ν і θ .

$$L(m, \lambda, \mu, \nu) = C_{\text{зак}} \cdot P^*(m, k, \lambda, \mu, \nu) + C_{\text{зб}} \cdot q_{\text{зб}}(m, \lambda, \mu, \nu) \cdot P_{\text{зан}}(m, \lambda, \mu, \nu) + C_{\text{оч}} \cdot q(m, \lambda, \mu, \nu), \quad (3)$$

де $P^*(m, k, \lambda, \mu, \nu) = \rho / (m \cdot \delta)$; $P_{\text{зан}}(m, \lambda, \mu, \nu) = \rho$;

$$q(k, m, \lambda, \mu, \nu) = Q'(1) = \frac{m\delta}{2\rho(\delta m(\rho-1) + \rho)^2} \times \\ \times \left\{ \left[2\delta m(1-\rho-\rho^2) + \rho(m(\rho-1) - \rho-3) \right] D'(1) + \right. \\ \left. + 2(\delta m(\rho-1) + \rho) D''(1) \right\} + \\ + \rho \pi_0 \frac{2\delta^2 m^2 \rho - \delta m((1-\rho)(m-2k-\rho-1) - 2\rho(k-m))}{2(\delta m(1-\rho) - \rho)^2};$$

$$\pi_0 = 1 - \rho - \frac{\rho}{m\delta} - (k+1)P_{m,k-1} - \frac{1}{\rho} a'_{m-1}(1);$$

$$a'_{m-1}(1) = \sum_{i=1}^k i P_{m-1,i}.$$

У формулі (2) невідома тільки одна характеристика, а саме $q_{36}(m, \lambda, \mu, \nu)$, обчислення якої здійснюється аналогічно тому, як це було вже було виконано в попередніх пунктах, а саме:

– величина $A_0(1) + P_{10}$ визначає ймовірність того, що після закінчення розігріву (закінчення поставки), прилад обслуговує або обслужив першу вимогу. Це означає, що в цей час на складі знаходяться $(m-1)$ виріб (деталь та ін.);

– величина $A_0(1) + P_{20}$ визначає ймовірність того, що прилад обслуговування зайнятий обробкою другої деталі або її вже закінчив. Це означає, що на складі знаходиться $(m-2)$ виробів, та ін.;

– ймовірність $A_{m-1}(1) + A^*(1) + A_m(1)$ означає, що на складі немає виробів.

Враховуючи:

$$A_0^*(1) = \frac{\rho}{m\delta}; \quad A_0(1) = A_1(1) = \dots = A_{m-1}(1) = \frac{\rho}{m};$$

$$A_m(1) = \frac{\rho}{m\beta},$$

знаходимо, що випадкова величина m , яка дорівнює числу виробів (деталей), що знаходяться на складі, має наступний закон розподілу (таблиця).

Тоді:

Закон розподілу випадкової величини m

m	0	1	2	...	$m-2$	$m-1$
P	$\frac{\rho}{m} + \frac{\rho}{m\delta} + \frac{\rho}{m\beta}$	$\frac{\rho}{m} + P_{m-1,0}$	$\frac{\rho}{m} + P_{m-2,0}$	...	$\frac{\rho}{m} + P_{20}$	$\frac{\rho}{m} + P_{10}$

$$M\eta = q_{36}(m, \lambda, \mu, \nu) = \frac{\rho}{m}(1 + 2 + \dots + (m-1)) + \\ + \sum_{i=1}^{m-1} i P_{m-i,0} = \frac{(m-1)\rho}{2} + \sum_{i=1}^{m-1} i P_{m-i,0}. \quad (4)$$

Отже, всі числові вирази, що входять в формулу (2), знайдені, а це значить, що можна вирішити, використовуючи чисельні методи, завдання визначення оптимальних параметрів створення запасів.

Так само як і раніше, додаючи в формулу (2) складову, що характеризує витрати, пов'язані з підтриманням устаткування в робочому стані, отримаємо узагальнену модель створення запасів, що зв'язує логістичний ланцюжок «підприємство – склад». В цьому випадку функціонал витрат має вигляд:

$$L(m, \lambda, \mu, \nu) = C_{зак} \cdot P^*(m, \lambda, \mu, \nu) + \\ + C_{36} \cdot q_{36}(m, \lambda, \mu, \nu) \cdot P_{зан}(m, \lambda, \mu, \nu) + \\ + C_{оч} \cdot q(m, \lambda, \mu, \nu) + C_1 \cdot P_{зан}(m, \lambda, \mu, \nu) + \\ + C_2 \cdot P_0(m, \lambda, \mu, \nu), \quad (6)$$

де C_1 – витрати, пов'язані з підтримкою обладнання у працездатному стані; C_2 – витрати, пов'язані з підтримкою обладнання у стані «вільний–розігрітий»; $P_{зан}(m, \lambda, \mu, \nu)$ – ймовірність того, що прилад зайнятий обслуговуванням.

Висновки

Розглянута модель дозволяє скоротити рівень промислових запасів та забезпечити на певному рівні виробничо-економічну стійкість компонента логістичної системи – моделі управління складом з дефіцитом при наявності і інших логістичних моделей управління складами підприємства з випадковим часом поставок та управління запасами підприємства з випередженням поставки (в контексті частинних ситуаційних задач).

Є необхідність в подальших дослідженнях в межах моделювання ГВЛС, виходячи з функціонального ділення операцій в логістичній системі (наприклад, в другій фазі функціональної логістичної підсистеми – рух сировини, матері-

алів, запасних частин зі складу підприємства на основне виробництво, тобто другого виду логістичних процесів – логістики складського господарства).

Для моделювання роботи складів підприємства запропоновано використовувати клас моделей, заснованих на базі керованих систем масового обслуговування, які дозволяють отримувати достатньо велике число характеристик, що використовуються при знаходженні оптимальних параметрів гнучких виробничо-логістичних систем (ГВЛС), які в змозі швидко реагувати на кон'юнктуру ринку.

Зокрема пропонується частинна модель управління складом з дефіцитом дозволить скоротити рівень промислових запасів, мінімізувати час виробничого циклу і дотримати терміни поставок. Мета виробничої логістики полягає в точній синхронізації процесу виробництва, розрахунку його оптимальних параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Крикавський Є.В., Чухрай Н.І., Чорнокопитська Н.В. Логістика: компендіум і практикум: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2009. – 338 с.
2. Крикавський Є.В. Логістика. Основи теорії: Підручник. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2006. – 456 с.
3. Лысенко Ю.Г., Петренко В.Л., Румянцев Н.В. Концепция логистического управления производственно – экономическими системами на основе теории массового обслуживания // Вісник ДонНУ. – Серія «Економіка і право». – Донецьк: 2000. – № 2. – С.173-178.
4. Рыжиков Ю.И. Логистика, очереди и управление запасами. – Санкт-Петербург: ГУАП, СПИИРАН, 2011. – 477 с.
5. Румянцев Н.В. Гибкие логистические системы с переналадкой в начале периода занятости и потерей требований // Науковий журнал «Бізнес Інформ», № 4, 2012. – Харків: ФОП Александрова К.М.; ВД «ИНЖЕК», 2012. – С.25-27.
6. Румянцев Н.В. Гибкие логистические системы с переналадкой в конце периода занятости и потерей требований // Науковий журнал «Бізнес Інформ». – 2012. – № 5. – С.51-54.
7. Румянцев Н.В. Моделирование гибких производственных систем с переналадкой в промежутке между двумя производственными циклами // Міжнародний науковий журнал «Економічна кібернетика». – 2013. – № 1-3(789-81). – С.82-84.
8. Николайчук В.Е. Теория и практика управления материальными потоками (логистическая концепция): монография. – Донецьк: ДонНУ, «КИТИС», 1999. – 413 с.
9. Николайчук В.Е. Логистический менеджмент: Учебник. – М.: Дашков и К, 2017. – 980 с.
10. David Blanchard. Supply Chain Management: Best Practices. – Hoboken: Wiley, 2010. – 302 p.
11. Donald J. Bowersox, David J. Closs. Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process. – New York: McGraw-Hill, 1996. – 730 p.
12. Purchasing and supply management / Michiel R. Leenders, Harold E. Fearon, Anna Flynn, P. Fraser Johnson. – New York: McGraw-Hill Education, 2001. – 743 p.
13. Організаційно-економічний механізм збалансованого розвитку регіонів. Фінансово-економічна безпека: колективна монографія / за заг. ред. проф. В.І. Дубницького; УДХТУ. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2017. – 506 с.
14. Дубницький В. І., Науменко Н.Ю., Білоброва Ю.О. Гнучка виробничо-логістична система: модель управління складом з дефіцитом // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2018): матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. – Дніпро: Баланд-клуб, – 2018. – С.346-348.

Надійшла до редакції 26.10.2018

ГИБКАЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА: МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДОМ С ДЕФИЦИТОМ

Дубницький В.І., Науменко Н.Ю., Белоброва Ю.О.

Современные условия функционирования предприятий в рамках рыночной экономики, а также в условиях неопределенности и неустойчивости внешней среды требуют новых, высокоэффективных средств и методов управления его хозяйственной деятельностью. В работе рассматривается частная задача моделирования работы гибкой производственно-логистической системы (ГПЛС) с использованием класса моделей, основанные на базе управляющих систем массового обслуживания (СМО), которые позволяют получить достаточно большое количество характеристик, которые используются при отыскании оптимальных параметров ГПЛС — моделирование работы склада предприятия моделью системы массового обслуживания с пороговым включением и ограниченными ресурсами. В работе отмечено, что важным недостатком современных подходов к организации производства является тот факт, что все технологические системы рассматриваются как идеальные системы, то есть детерминированы. Наблюдение за реальными объектами, которые относятся к сложным системам, показывает, что они функционируют в условиях действия большого количества случайных факторов, поэтому предсказания поведения ее может иметь смысл только в пределах вероятностных категорий. Представленный граф состояний системы с пороговым включением позволяет выполнить ориентацию прибора (простейший поток требований интенсивности λ). Показано, что материальный поток можно классифицировать по степени сменности. По этому принципу различают стационарные и нестационарные потоки, а также ординарные и неординарные потоки. Выделен алгоритм обслуживания. В работе предполагается, что выполнение заказа на изготовление того или иного вида продукции происходит в порядке поступления. Полученная обобщенная модель образования запасов, связывающей логистическую цепь «предприятие — склад» и представляет функционал расходов. Использование инструментария производственной логистики в сочетании с идеологией моделирования логистических моделей склада с определением его оптимальных, с точки зрения предприятия, параметров реализовано, в частности, в модели управления складом с дефицитом. Предложено в работе использовать класс моделей для моделирования работы складов предприятия, основанные на базе управляемых систем массового обслуживания, которые позволяют получать достаточно большое число характеристик, используемых при нахождении оптимальных параметров гибких производственно-логистических систем, которые в состоянии быстро реагировать на конъюнктуру рынка.

Ключевые слова: модель управления складом с дефицитом, гибкая производственно-логистическая система, системы массового обслуживания, система «предприятие — склад», управление предприятием, граф состояний.

FLEXIBLE PRODUCTION AND LOGISTICS SYSTEM: A MODEL OF WAREHOUSE MANAGEMENT WITH A DEFICIT

Dubnitsky V.I.^a, Naumenko N.Yu.^a, Bilobrova Y.O.^b

^a Ukrainian State University of Chemical Engineering, Dnipro, Ukraine

^b University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine

Modern conditions of functioning of enterprises within the framework of a market economy, as well as in the conditions of uncertainty and instability of the external environment, require new, highly effective means and methods of managing their economic activity. In this paper, the partial problem of modeling the work of a flexible production-logistic system (FPLS) with the use of a class of models based on the basis of mass management systems (MMS) is considered, which allows one to obtain a sufficiently large number of characteristics that are used in finding the optimal parameters of FPLS, is considered. This problem is modeling of work of the enterprise warehouse using model of mass service system with threshold inclusion and limited resources. The paper noted that an important disadvantage of modern approaches to the organization of production is the fact that all technological systems are regarded as ideal systems, that is, they are deterministic. Observation of real objects that we associate with complex systems demonstrates that they function in conditions of a large number of random factors, so predicting its behavior can only be meaningful within the probabilistic categories. The represented graph of states of the system with threshold inclusion allows one to perform the orientation of the device (a steady stream of intensity requirements λ). It is shown that the material flow can be classified according to the degree of variability. This principle distinguishes between stationary and non-stationary flows, as well as ordinary and extraordinary streams. The service algorithm is allocated. In this work, it is assumed that the execution of the order for the manufacture of one or another type of products is in the order of receipt. A generalized model of formation of stocks is obtained, which links the «enterprise — warehouse» logistics chain and represents a functional cost. It is confirmed that the use of tools of industrial logistics combined with the ideology of modeling of logistic models of the warehouse with the definition of its optimal, in terms of enterprise, parameters, in particular, the model of warehouse management with a deficit. It is suggested to use a class of models for modeling the work of warehouses of the enterprise, which are based on the basis of managed mass service systems and allow one to obtain a sufficiently large number of characteristics used in finding optimal parameters of flexible production and logistic systems (FPLG), which are able to react quickly to market conditions.

Keywords: model of warehouse management with a deficit, flexible production-logistic system, mass service systems, enterprise — warehouse system, enterprise management, state graph.

REFERENCES

1. Krikavs'kij E.V., Chuhraj N.I., Chornokopits'ka N.V. *Logistika: kompendium i praktikum: Navchal'nij posibnik* [Logistic: compendium and practical work: train aid]. Kiev: Kondor, 2009, 338 p. (in Ukrainian).
2. Krikavs'kij E.V. *Logistika. Osnovi teorii: Pidruchnik* [Logistic. Bases of theory: Textbook]. L'viv: Nacional'nij universitet, «L'vivs'ka politehnika», 2006, 456 p. (in Ukrainian).
3. Lysenko Yu.G., Petrenko V.L., Rumyanec N.V. *Koncepciya logisticheskogo upravleniya proizvodstvenno – ekonomicheskimi sistemami na osnove teorii massovogo obsluzhivaniya* [Conception of logistic management by the industrial and economic systems on the basis of theory of mass service] // *Visnik DonNU – Seriya «EHkonomika i pravo»* [Announcer DonNU – Series «Economy and right»]. Doneck, 2000, no 2, pp.173-178. (in Russian).
4. Nikolajchuk V.E. *Teoriya i praktika upravleniya material'nymi potokami (logisticheskaya koncepciya): monografiya* [Theory and practice of management by material streams (logistic conception) : monograph]. Doneck: DonNU, «KITIS», 1999, 413 p. (in Russian).
5. Nikolajchuk V.E. *Logisticheskij menedzhment*. [Logistic management] Uchebnik. Moskva: Dashkov i K, 2017, 980 p.
6. David Blanchard. *Supply Chain Management: Best Practices*. New York: Wiley, 2010, 302 p.
7. Donald J. Bowersox , David J. Closs. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*. New York: McGraw-Hill, 1996, 730 p.
8. Michiel R. Leenders, Harold E. Fearon, Anna Flynn, P. Fraser Johnson *Purchasing and supply management*. New York: McGraw-Hill Education, 2001, 743 p.
9. Ryzhikov Yu.N. *Logistika, ocheredi i upravlenie zapasami*. [Logistic, turns and management by supplies]. Sankt-Peterburg: GUAP, SPIIRAN, 2011, 477 p. (in Russian).
10. Rumyanec N.V. *Gibkie logisticheskie sistemy s pere-naladkoj v nachale perioda zanyatosti i poterej trebovanij* [Flexible logistic systems with a readjust at the beginning of period of employment and loss of requirements] // *Naukovij zhurnal «Biznes Inform»* [Scientific magazine «Business of Inform»]. Harkiv: FOP Aleksandrova K.M.; VD «INZHEK», 2012, no 4, pp.25-27. (in Russian).
11. Rumyanec N.V. *Gibkie logisticheskie sistemy s pere-naladkoj v konce perioda zanyatosti i poterej trebovanij* [Flexible logistic systems with a readjust at the end of period of employment and loss of requirements] // *Naukovij zhurnal «Biznes Inform»* [Scientific magazine «Business of Inform»]. Harkiv: FOP Aleksandrova K.M.; VD «INZHEK», 2012, no 5, pp.51-54. (in Russian).
12. Rumyanec N.V. *Modelirovanie gibkih proizvodstven-nyh sistem s pere-naladkoj v promezhutke mezhdvumya proizvodstvennymi ciklami* [Design of the flexible productive systems with a readjust in an interval between two productive cycles] // *Mizhnarodnij naukovij zhurnal «Ekonomichna kibernetika»* [An international scientific magazine is Economic cybernetics]. Donec'k: DonNU, 2013, no 1-3(789-81), pp.82-84. (in Russian).
13. *Organizacijno-ekonomichnij mekhanizm zbalansovanogo rozvitu regioniv. Finansovo-ekonomichna bezpeka: kolektivna monografiya / za zag. red. prof. V.I. Dubnic'kogo* [Organizational-economic mechanism of the balanced development of regions. Financial-economical safety: collective monograph / after the general release of professor V.I. Dubnitsky]. UDHTU. Dnipro: DVNZ UDHTU, 2017, 506 p. (in Ukrainian).
14. Dubnic'kij V.I., Naumenko N.Yu., Bilobrova Yu.O. *Gnuchka virobnicho-logistichna sistema: model' upravlinnya skladom z deficitom*. [Flexible production and logistics system: a model of warehouse management with a deficit]. *Komp'yuterne modelyuvannya ta optimizaciya skladnih sistem (KMOSS-2018): materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-tehnicnoi konferencii (m. Dnipro, 1-2 listopada 2018 roku)* [Computer modeling and optimization of complex systems (CMOCS-2018): materials of IV of the International scientific and technical conference (Dnipro, on November, 1-2, 2018)] / Ministerstvo osviti i nauki Ukraïni, Derzhavnij vishchij navchal'nij zaklad «Ukraïns'kij derzhavnij himiko-tehnologichnij universitet». Dnipro: Balans-klub, 2018, pp.346-348. (in Ukrainian).

Зеленцов Д.Г.

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина

Предлагается способ повышения точности и эффективности вычисления функций ограничений в задачах оптимального проектирования конструкций, подверженных воздействию агрессивных сред, при ограничении по заданной долговечности (времени работы до момента исчерпания несущей способности). Рассматривается общий случай коррозионного взаимодействия, когда механические напряжения увеличивают скорость процесса накопления геометрических повреждений. Модель процесса коррозионного деформирования конструкции включает в себя систему уравнений механики и систему дифференциальных уравнений, моделирующих процесс изменения вследствие коррозии геометрических характеристик. Правые части дифференциальных уравнений содержат функции механических напряжений, для вычисления которых используется метод конечных элементов. Таким образом, точность вычисления функций ограничений оптимизационной задачи определяется точностью численного решения системы дифференциальных уравнений. При неизменном параметре численного метода она изменяется в зависимости от варьируемых параметров, что не позволяет получить решение оптимизационной задачи с заданной точностью. В данной статье предлагается описание метода, основанного на аппроксимации погрешности приближённого решения с помощью нейронной сети и его последующего уточнения. Для получения приближённого решения системы дифференциальных уравнений используется численно-аналитический алгоритм, параметры которого не изменяются в процессе решения задачи оптимизации. Для иллюстрации предложенного метода решен ряд задач весовой оптимизации корродирующих шарнирно-стержневых конструкций. Приводятся результаты обучения и тестирования нейронных сетей, а также данные численных экспериментов, подтверждающие эффективность и точность предлагаемого метода.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, оптимальное проектирование, агрессивная среда, процесс коррозионного деформирования, система дифференциальных уравнений.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-18-26

Постановка проблемы

Среди задач строительной механики особое место занимают задачи расчёта несущей способности и оптимального проектирования конструкций с изменяющимися во времени геометрическими характеристиками. К таким конструкциям относятся, прежде всего, конструкции, эксплуатирующиеся в агрессивных средах (АС). Влияние АС вызывает коррозионный износ — разрушение приповерхностного слоя металла, что со временем приводит к снижению

несущей способности конструкции и преждевременному, нередко аварийному выходу её из строя. В общем случае коррозионного взаимодействия механические напряжения существенно влияют на скорость коррозии, что необходимо учитывать в расчётах.

Настоящая статья посвящена проблеме оптимального проектирования конструкций, предназначенных для эксплуатации в агрессивных технологических средах. Вычисление функций ограничений в этом случае предполагает

определение долговечности конструкции по критериям прочности, жесткости или устойчивости на каждом шаге поиска оптимального проекта.

Под точностью решения оптимизационной задачи в данном случае подразумевается точность вычисления функций ограничений, которая будет определяться правильным выбором используемых при этом математических моделей, методов и алгоритмов их реализации. Для вычисления функций ограничений необходимо наличие модели коррозионного деформирования, которая позволяет определить напряженно-деформированное состояние конструкции (НДС) в любой момент времени.

Модель коррозионного деформирования на основе метода конечных элементов (МКЭ) включает в себя систему дифференциальных уравнений (СДУ), описывающей процесс накопления геометрических повреждений. Повышение точности численного решения СДУ за счёт увеличения количества узлов временной сетки будет приводить к резкому увеличению вычислительных затрат.

В статье предлагается описание метода вычисления функций ограничений, основанного на уточнении приближённого решения с помощью искусственной нейронной сети (ИНС). Применение этого метода позволяет, по мнению автора, существенно снизить вычислительные затраты при обеспечении требуемой точности. В качестве иллюстрации предлагается решение задачи весовой оптимизации шарнирно-стержневой конструкции, подверженной воздействию агрессивной среды.

Анализ последних исследований и публикаций

В данном разделе анализ публикаций по проблемам оптимального проектирования корродирующих конструкций приводится по двум направлениям: численным методам решения задачи Коши для СДУ, описывающих процесс накопления геометрических повреждений, в том числе – алгоритмам управления точностью численного решения СДУ и методам решения задач оптимизации корродирующих конструкций.

Основная проблема численных методов заключается в таком выборе их параметров, который обеспечил бы приемлемый компромисс между вычислительными затратами и точностью получаемого результата. В работе [1], посвящённой повышению эффективности численного решения систем дифференциальных уравнений, для минимизации числа арифметических операций при численном решении системы

обыкновенных дифференциальных уравнений n -го порядка применялся метод динамического программирования. В более поздних работах повышение эффективности и точности вычислительных алгоритмов осуществлялось, в том числе, путём использования формул, описывающих зависимость между параметрами сечения и агрессивной среды, напряжением, значениям глубины коррозии и временем [2,3]. В [4,5] с помощью искусственных нейронных сетей была формализована информация о влиянии на погрешность решения СДУ (помимо величины шага интегрирования) таких факторов, как начальные значения напряжений в элементе, параметры агрессивной среды и характеристики сечения (формы, площади, периметра). Применение ИНС позволило определять величину шага интегрирования СДУ в процессе решения задачи в зависимости от требуемой точности решения.

В последние десятилетия стало очевидным, что эффективное решение задачи оптимального проектирования конструкций, подверженных коррозии, невозможно без существенной модификации традиционных методов. В [6] для решения задачи весовой оптимизации ИСК был использован метод скользящего допуска; в качестве критерия скользящего допуска принималась погрешность вычисления функций ограничений. Данный метод показал высокую эффективность за счёт снижения вычислительных затрат на начальных этапах решения задач оптимизации. При этом вопрос о точности получаемого решения оставался открытым. В работе [7] был использован нейросетевой модуль, позволяющий управлять точностью вычисления функций ограничений в соответствии с критерием скользящего допуска.

В приведенных работах задача оптимизации решалась в непрерывной постановке, что позволяло в ряде случаев использовать градиентные методы. При решении задачи дискретной оптимизации наиболее перспективным представляется использование методов эволюционного моделирования [8,9], в частности, генетических методов. Это предполагает значительно более высокие вычислительные затраты по сравнению с методами математического программирования и обуславливает актуальность разработки новых эффективных методов её решения.

Формулирование цели исследования

В качестве объекта исследования в данной статье рассматриваются шарнирно-стержневые

конструкции (ШСК), предназначенные для эксплуатации в агрессивных средах. Задача весовой оптимизации может быть сформулирована следующим образом: требуется определить типы и типоразмеры стержневых элементов таким образом, чтобы объём конструкции был минимальным, и на протяжении всего заданного срока эксплуатации она сохраняла несущую способность, то есть удовлетворяла условиям прочности и устойчивости. В виде задачи нелинейного математического программирования данная постановка имеет вид:

$$F(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N A_i(\bar{x}) \cdot L_i \rightarrow \min; \bar{x} \in X_D;$$

$$X_D: \left\{ \bar{x} \in E^n \left| \begin{array}{l} g_1(\bar{x}) = [\sigma] - \sigma_i(\bar{x}, t^*) \geq 0; \\ g_2(\bar{x}) = \sigma_i^*(\bar{x}, t^*) - \sigma_i(\bar{x}, t^*) \geq 0; \\ i = \overline{1, N} \end{array} \right. \right\}, \quad (1)$$

где A_i и L_i – площадь сечения и длина i -го стержневого элемента; N – количество стержней в расчётной модели; $\bar{x}$ – вектор варьируемых параметров (типов и типоразмеров сечений); σ_i и σ_i^* – текущее напряжение и критическое напряжение потери устойчивости в i -м элементе; $[\sigma]$ – предельное значение напряжения; t^* – заданный срок эксплуатации.

Специфика оптимизационных задач такого класса заключается в следующем:

- в функции ограничений входит время;
- решение ищется на дискретном неметрическом множестве (множестве индексов).

Вычисление функций ограничений (ФО) предполагает расчёт напряжённого состояния конструкции в заданный момент времени с учётом происходящего в ней коррозионного процесса.

Моделирование процесса коррозионного деформирования предполагает решение системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс накопления геометрических повреждений в стержневых элементах:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0 \cdot \Phi(\sigma_i(\bar{\delta})) \quad \delta_i|_{t=0} = 0; \quad i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где δ_i – глубина коррозионного поражения (параметр повреждённости); v_0 – скорость коррозии при отсутствии напряжения; Φ – известная функция напряжения; t – время.

Для вычисления напряжений в правых ча-

стях (2) используются уравнения механики деформированного твёрдого тела: система уравнений равновесия и совместности деформаций, соотношения Коши и физические соотношения (для упругих тел – закон Гука). В виде системы уравнений метода конечных элементов (МКЭ) они имеют вид:

$$\begin{cases} \bar{R} = K^{-1} \cdot \bar{u} \\ \bar{\varepsilon} = D \cdot \bar{u} \\ \bar{\sigma} = E \cdot \bar{\varepsilon} \end{cases}, \quad (3)$$

где K , D , E – матрицы жёсткости, дифференцирования и упругости; $\bar{R}$, $\bar{u}$, $\bar{\varepsilon}$ и $\bar{\sigma}$ – векторы узловых нагрузок, перемещений, деформаций и напряжений.

Для шарнирно-стержневых конструкций матрица жесткости конечного элемента имеет вид:

$$K = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \cos \alpha \sin \alpha & -\cos^2 \alpha & -\cos \alpha \sin \alpha \\ \cos \alpha \sin \alpha & \sin^2 \alpha & -\cos \alpha \sin \alpha & \sin \alpha \\ -\cos^2 \alpha & -\cos \alpha \sin \alpha & \cos^2 \alpha & \cos \alpha \sin \alpha \\ -\cos \alpha \sin \alpha & -\sin^2 \alpha & \cos \alpha \sin \alpha & \sin^2 \alpha \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости конструкционного материала.

Так как площади сечений элементов изменяются в процессе коррозионного износа, то элементы матрицы жесткости конструкции, а, следовательно, и напряжения в элементах, являются переменными во времени.

Таким образом, вычисление ФО оптимизационной задачи сводится к численному решению задачи Коши для СДУ (2) совместно с решением задачи МКЭ (3)–(4).

Целью работы является разработка метода, который позволит минимизировать вычислительные затраты и одновременно обеспечить высокую точность вычисления функций ограничений.

Изложение основного материала исследования

Предлагаемый метод основывается на численно-аналитическом алгоритме решения СДУ вида (2) и нейронной сети, аппроксимирующей погрешность этого решения.

Численно-аналитический алгоритм решения СДУ, описывающей процесс накопления повреждений, использует формулу, устанавливающую связь между глубиной коррозионного поражения, геометрическими характеристиками

сечения стержня, напряжением, параметрами агрессивной среды и временем. Данная формула учитывает влияние глубины коррозионного поражения на изменение напряжения, но игнорирует влияние изменения осевого усилия. Таким образом, для статически определимых корродирующих ШСК (когда внутренние усилия в стержнях постоянны) она позволяет получить точное решение задачи долговечности. Погрешность решения задачи для статически неопределимых конструкций будет определяться только степенью изменения внутренних усилий.

В качестве модели накопления геометрических повреждений будем использовать кинетическое уравнение вида:

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0 (1 + k\sigma), \quad (5)$$

где k — коэффициент влияния напряжения на скорость коррозионного процесса.

Возможность использования уравнения (2) при моделировании процессов коррозионного деформирования обоснована в монографии [2].

Будем предполагать, что осевое усилие в стержневом элементе постоянно: $Q = \text{const}$. Тогда изменение во времени напряжения будет вызвано лишь изменением площади сечения:

$$\sigma(\delta) = \frac{Q}{A_0 - P_0 \cdot \delta + a\delta^2}, \quad (6)$$

где A_0 и P_0 — площадь и периметр сечения в начальный момент времени; a — коэффициент формы сечения.

Подставляя (6) в (5) и интегрируя полученное уравнение, после несложных преобразований получим значение времени t^* , соответствующему предельному значению глубины коррозионного поражения δ^* :

$$t^* = \frac{\delta^*}{v_0} - \frac{2kQ}{v_0 d} \times \ln \left\{ \frac{(P_0 + d - 2a \cdot \delta^*)(P_0 - d)}{(P_0 - d - 2a \cdot \delta^*)(P_0 + d)} \right\}. \quad (7)$$

В (7) приняты следующие обозначения:

$$c = A_0 + kQ, \quad d = \sqrt{P_0^2 - 4ac}.$$

Предельное значение δ^* определяется из условий прочности, устойчивости и сплошнос-

ти сечения.

В численно-аналитическом алгоритме решения СДУ (2) задаётся приращение глубины коррозии $h_d^s = d^s - d^{s-1} = \text{const}$ (рис. 1), а соответствующее ему приращение времени h_t^s определяется по формуле:

$$h_t^s = \frac{h_d^s}{v_0} - \frac{2kQ^{s-1}}{v_0 d} \times \ln \left\{ \frac{(P^{s-1} + d - 2ah_d^s)(P^{s-1} - d)}{(P^{s-1} - d - 2ah_d^s)(P^{s-1} + d)} \right\}. \quad (8)$$

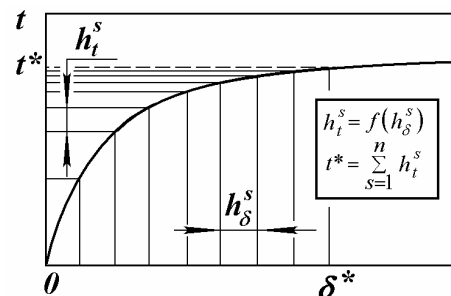


Рис. 1. Графическая иллюстрация алгоритма

В каждом узле конечно-разностной сетки решается система уравнений механики (3). Таким образом, в течение промежутка времени h_t^s учитывается изменение площади сечения, но игнорируется изменение осевого усилия. Последнее и обуславливает погрешность решения.

На изменение внутренних усилий в стержневых элементах ШСК оказывает влияние большое количество факторов, в том числе топология конструкции, граничные условия и условия нагружения. Учесть их влияние до решения задачи не представляется возможным.

Предположим, что нам известен закон изменения внутреннего усилия в том стержневом элементе, долговечность которого определяет долговечность конструкции в целом, а также известно приближённое решение, полученное с помощью численно-аналитического алгоритма при фиксированном количестве узлов. В этом случае можно построить функцию, аппроксимирующую погрешность приближённого решения на основе ранее неучтённых факторов.

Так как долговечность конструкции, как отмечалось ранее, определяется долговечностью какого-либо одного её элемента, то решение задачи (2)–(4) будет совпадать с решением задачи расчёта долговечности для единственного

стержня с соответствующими характеристиками сечения и известным законом изменения осевого усилия. Напряжение в стержне определится следующим образом:

$$d = \sqrt{P_0^2 - 4ac} . \quad (9)$$

Аналитическое решение дифференциального уравнения, получаемого путём подстановки (9) в (5) невозможно, с другой стороны, в качестве эталонного решения можно использовать численное решение, погрешность которого может быть сколь угодно малой.

Зависимости $Q=Q(t)$ можно получить на основании результатов приближённого решения. Если аппроксимировать её полиномом степени три:

$$Q(t)=Q_0+\alpha_1 t+\alpha_2 t^2+\alpha_3 t^3,$$

то для определения коэффициентов полинома можно использовать значения внутренних усилий в стержневых элементах в четырёх узлах конечно-разностной сетки, включая тот, который соответствует начальному моменту времени.

На рис. 2 приведена искусственная нейронная сеть, которая используется для аппроксимации погрешности приближённого решения при активных ограничениях по прочности. Входными параметрами сети являются начальная площадь A_0 и периметр P_0 сечения, начальное значение напряжения σ_0 , параметр агрессивной среды v_0 и коэффициенты полинома $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. Выходной параметр сети – погрешность при-

ближённого решения.

В общем виде алгоритм предложенного метода может быть представлен следующим образом.

1. Для данного вектора варьируемых параметров решается задача напряжённо-деформированного состояния и находятся начальные значения усилий и напряжений в стержнях. На основании полученных значений с использованием (7) вычисляется долговечность всех элементов и определяется элемент, которому соответствует минимальное её значение (в дальнейшем – ведущий элемент).

2. С использованием численно-аналитического метода решается система дифференциальных уравнений вида (2); количество узлов конечно-разностной сетки при этом определяется степенью полинома, описывающем изменение усилий в ведущем элементе. Результатом этого этапа является приближённое значение задачи долговечности и значения коэффициентов аппроксимирующего полинома.

3. На основании данных о параметрах сечения ведущего элемента, начального напряжения в нём и коэффициентов аппроксимирующего полинома с использованием ИНС вычисляется погрешность приближённого решения.

4. На основании приближённого решения задачи долговечности и его погрешности получается уточнённое решение.

Для численной иллюстрации предложенного метода был решён ряд задач весовой оптимизации корродирующих ШСК со стержнями, изготовленными из фасонных профилей (рис. 3). В качестве варьируемых параметров принимались тип (двутавр, швеллер, равнополочный и неравнополочный уголки) и типоразмер профиля. Для решения задачи оптимизации использовался целочисленный генетический алгоритм. Множество решений задачи и способ кодирования хромосомы показаны на рисунках 4 и 5.

Общая схема решения задачи оптимизации с помощью предложенного метода приведена на рис. 6. Блоки, показанные на схеме, имеют следующее назначение: «ГА» – реализация генетического алгоритма; «ЦФ» – вычисление значения целевой функции; «НДС» – решение задачи напряжённо-деформированного состояния методом конечных элементов; «СДУ» – численно-аналитическое решение СДУ вида (2); «НС» – определение погрешности численного решения СДУ с помощью ИНС.

Нейронные сети, аппроксимирующие погрешность численно-аналитического решения

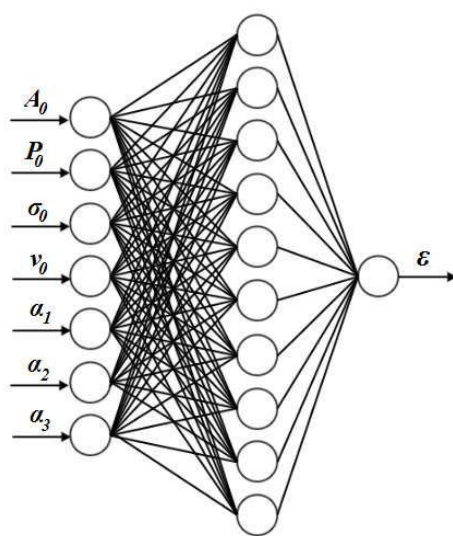


Рис. 2. Архитектура нейронной сети

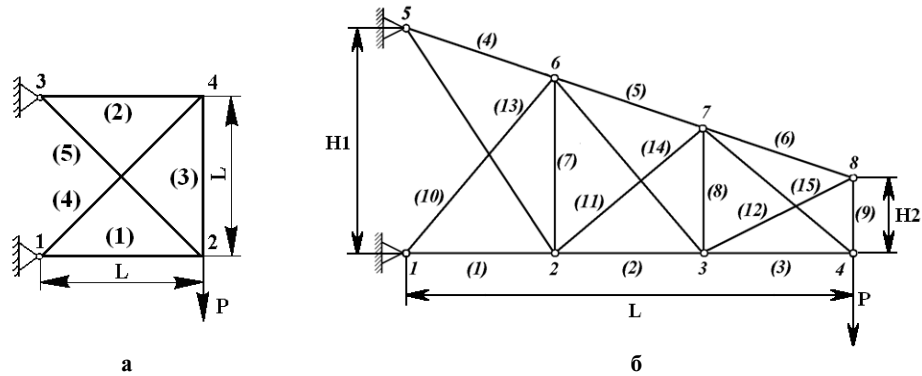


Рис. 3. Расчётные схемы конструкций

обучались для каждого типа сечения с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. Оптимальная структура нейронных сетей определялась с помощью методик, приведенных в [10].

				Уголок неравнополочный
				Уголок равнополочный
				Швеллер
				Двутавр
55,0	100,0	4,5	7,2	Профиль № 10
64,0	120,0	4,8	7,3	Профиль № 12
...	...	...	...	
140,0	330,0	7,0	11,2	Профиль № 33
H	B	D	T	

Рис. 4. Множество решений оптимизационной задачи

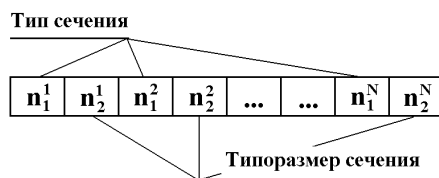


Рис. 5. Способ кодирования хромосомы

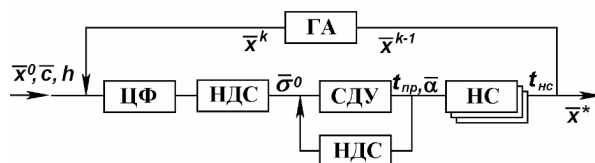


Рис. 6. Схема решения задачи оптимизации

В табл. 1 приведены результаты тестирования ИНС для растягиваемого стержня двутаврового профиля.

Объём тестовой выборки составил 1000 образцов. Максимальная ошибка сети составила 3,26%.

Таблица 1

Результаты тестирования нейронной сети

<0,2%	0,2–0,4%	0,4–0,6%	0,6–0,8%	0,8–1,0%	>1,0%
332	282	162	106	72	46

В табл. 2 приведены результаты вычисления долговечности пятистержневой ШСК (рис. 3,а).

Таблица 2

Результаты тестирования метода

№ задачи	$t_{\text{эт}}$, лет	$t_{\text{пр}}$, лет	$\varepsilon_{\text{нс}}$, %	$t_{\text{ут}}$, лет	ε , %
1	2,3217	2,2084	5,71	2,3345	0,55
2	2,5914	2,7345	6,01	2,5702	0,81
3	1,5727	1,5023	4,95	1,5767	0,25
4	1,6659	1,6925	2,03	1,6608	0,31
5	1,8382	1,8732	1,75	1,8404	0,11

В табл. 2 приведены: номер решаемой задачи, эталонное решение, приближённое решение, полученное на четырёх узлах сетки, погрешность приближённого решения (выходной параметр нейронной сети), уточнённое на основании величины погрешности решение и погрешность уточнённого решения относительно эталонного. Задачи отличались типами и типоразмерами стержневых элементов:

– задача 1 – равнополочный уголок 125×129×9;
– задача 2 – неравнополочный уголок 140×90×10;

– задача 3 – двутавр 160×81;

– задача 4 – швеллер 180×70;

– задача 5 – швеллер 200×76.

Как следует из приведенных результатов, точность решения не зависит от геометрических характеристик сечения, вида ограничений и значений начальных напряжений.

Некоторые результаты, подтверждающие

высокую эффективность предложенного метода приводятся в табл. 3. Здесь показано сравнение вычислительных затрат различных методов вычисления функций ограничений для предельно допустимой погрешности $\epsilon^*=1\%$. Задача оптимизации решалась для пяти- и пятнадцатистержневой ШСК (рис. 3) с использованием генетического алгоритма. В качестве меры эффективности принималось количество обращений к процедуре МКЭ:

– при использовании для вычисления ФО фиксированного шага по времени, при котором погрешность вычисления не превышает ϵ^* на всём множестве варьируемых параметров;

– при использовании нейросетевого модуля управления точностью [5];

– при использовании нейросетевого модуля управления точностью и метода скользящего допуска [7];

– при использовании предложенного автором метода.

Таблица 3
Анализ эффективности метода

Метод	Количество обращений к процедуре МКЭ	
	5-стержневая ШСК	15-стержневая ШСК
ГА	3 375 141	10 287 508
НС+ГА	1 522 317	3 618 484
МСД+НС+ГА	565 944	1 528 043
Метод уточнения	46 714	94 396

Данные для первых трёх методов приведены в [11].

Выводы

Метод, основанный на использовании нейронных сетей для аппроксимации погрешности приближённого решения задачи долговечности корродирующих конструкций и его последующего уточнения позволил существенно снизить вычислительные затраты при одновременном обеспечении требуемой точности. Применение предложенного метода является наиболее эффективным при решении задач оптимального проектирования конструкций такого класса, так как задача долговечности решается на каждой итерации оптимизационного алгоритма при вычислении функций ограничений.

Полученные при проведении численных экспериментов результаты подтверждают правильность выбранного подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротченко А.Т. О применении метода динамического программирования к оптимальному интегрированию системы дифференциальных уравнений // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Всесоюз. межвуз. сб. / ГГУ. – Горький 1976. – Вып.4. – С.95-97.

2. Зеленцов Д.Г., Ляшенко О.А., Науменко Н.Ю. Информационное обеспечение расчётов корродирующих объектов. Математические модели и концепция проектирования систем. – Днепропетровск: УГХТУ, 2012 – 264 с.

3. Зеленцов Д.Г., Новикова Л.В. Анализ эффективности численно-аналитических алгоритмов решения некоторых классов систем дифференциальных уравнений // Современный научный вестник. Технические науки. Физика. – 2014. – № 18(214). – С.54-61.

4. Короткая Л.И. Использование нейронных сетей при численном решении некоторых систем дифференциальных уравнений // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/4(51). – С.24-27.

5. Денисюк О.Р. Определение рациональных параметров численного решения систем дифференциальных уравнений // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2016. – № 3(58). – С.208-212.

6. Радуй О.А. Оптимальне проектування кородуючих конструкцій з використанням штучних нейронних мереж // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2012. – № 1. – С.16-18.

7. Денисюк О.Р. Моделі та методи керованого за точністю чисельного аналізу кородуючих шарнірно-стержневих конструкцій: Автореф. дис...канд. техн. наук 01.05.02 / Харківський нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна. – Харків, 2017. – 20 с.

8. Alapati M. Discrete Optimization of Truss Structure Using Genetic Algorithm // International Journal of Recent Development in Engineering and Technology. – 2014. – Vol.3. – Issue 1. – P.105-111.

9. Ashlock D. Evolutionary Computation for Modeling and Ottimization. – New York, Springer, 2006. – 572 p.

10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

Поступила в редакцию 26.10.2018

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ**Зеленцов Д.Г.**

Пропонується спосіб підвищення точності і ефективності обчислення функцій обмежень в задачах оптимального проектування конструкцій, що підлягають впливу агресивних середовищ, при обмеженні з заданої довговічності (часу роботи до моменту вичерпання несучої здатності). Розглядається загальний випадок корозійної взаємодії, коли механічні напруження збільшують швидкість процесу накопичення геометричних пошкоджень. Модель процесу корозійного деформування конструкції включає до себе систему рівнянь механіки і систему диференціальних рівнянь, що моделюють процес зміни внаслідок корозії геометричних характеристик. Праві частини диференціальних рівнянь містять функції механічного напруження, для обчислення яких використовується метод скінченних елементів. Таким чином, точність обчислення функцій обмежень оптимізаційної задачі визначається точністю чисельного розв'язку системи диференціальних рівнянь. При незмінному параметрі чисельного методу вона змінюється в залежності від змінних параметрів, що не дозволяє отримати розв'язок оптимізаційної задачі з заданою точністю. У даній статті пропонується опис методу, заснованого на апроксимації похибки наближеного розв'язку за допомогою нейронної мережі і його подальшого уточнення. Для отримання наближеного розв'язку системи диференціальних рівнянь використовується чисельно-аналітичний алгоритм, параметри якого не змінюються в процесі розв'язання задачі оптимізації. Для ілюстрації запропонованого методу одержано розв'язки низки задач вагової оптимізації кородуючих шарнірно-стержневих конструкцій. Наводяться результати навчання і тестування нейронних мереж, а також дані про чисельні експерименти, що підтверджують ефективність і точність запропонованого методу.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, оптимальне проектування, агресивне середовище, процес корозійного деформування, система диференціальних рівнянь.

NEURAL NETWORKS AS A MEANS OF INCREASING THE ACCURACY AND EFFICIENCY OF SOLVING THE OPTIMIZATION PROBLEMS**Zelentsov D.G.****Ukrainian State University of Chemical Engineering, Dnipro, Ukraine**

A method is proposed for increasing the accuracy and efficiency of calculating constraint functions in problems of optimal design of structures exposed to aggressive media, with constraints on a given durability (operation time until the bearing capacity is exhausted). The general case of corrosion interaction is considered, when mechanical stresses increase the speed of the process of geometric damage accumulation. The model of the process of corrosion deformation of a structure includes a system of mechanics equations and a system of differential equations that simulate the process of change in geometric characteristics due to corrosion. The right-hand sides of differential equations contain mechanical stress functions, which are calculated using the finite element method. Thus, the accuracy of calculating the constraint functions of the optimization problem is determined by accuracy of a numerical solution of the system of differential equations. With a constant parameter of the numerical method, the accuracy changes depending on the variable parameters, which does not allow one to obtain a solution for the optimization problem with a given accuracy. This article offers a description of the method based on approximation of an approximate solution error using a neural network and its subsequent refinement. To obtain an approximate solution of a system of differential equations, a numerical-analytical algorithm is used. Its parameters do not change in the process of solving an optimization problem. To illustrate the proposed method, a number of problems of weight optimization of corroding trusses have been solved. The results of training and testing of neural networks, as well as data from numerical experiments, confirming the effectiveness and accuracy of the proposed method are presented.

Keywords: artificial neural network, optimal design, aggressive media, process of corrosion deformation, system of differential equations.

REFERENCES

1. Korotchenko A.T. O primeneniі metoda dinamicheskogo programmirovaniya k optimalnomu integrirovaniyu sistemy differentsialnykh uravneniy [On the application of the dynamic programming method to the optimal integration of a system of differential equations]. *Prikladnye problemy prochnosti i plastichnosti. Vsesojuzn. mezhvuz. sb.* [Applied problems of strength and plasticity. All-Union. interuniversity collection]. GGU, Gor'kij, 1976, vol. 4, pp.95-97. (in Russian).
2. Zelentsov D.G., Liashenko O.A., Naumenko N.Yu. *Informatsionnoe obespecheniye raschetov korrodiruyushchikh ob'ektov. Matematicheskiye modeli i kontseptsiya proyektirovaniya system.* [Information support for the calculations of corrosive objects. Mathematical models and the concept of system design]. Dnepropetrovsk: Ukrainian State University of Chemical Technology Publ., 2012, 264 p. (in Russian).
3. Zelentsov D.G., Novikova L.V. Analiz effektivnosti chislenno-analiticheskikh algoritmov resheniya nekotorykh klassov sistem differentsial'nykh uravneniy [Analysis of the effectiveness of numerical-analytical algorithms for solving some classes of systems of differential equations] *Sovremennyy nauchnyy vestnik. Tekhnicheskkiye nauki. Fizika.* [Modern Scientific Bulletin. Technical science. Physics]. 2014, №18 (214), pp.54–61. (in Russian).
4. Korotkaya L.I. Ispol'zovaniye neyronnykh setey pri chislennom reshenii nekotorykh sistem differentsial'nykh uravneniy. [The use of neural networks in the numerical solution of some systems of differential equations]. *Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy.* [East European Journal of Advanced Technologies]. 2011, №3/4 (51), pp.24–27. (in Russian).
5. Denisyuk O.R. Opredeleeniye ratsional'nykh parametrov chislennogo resheniya sistem differentsial'nykh uravneniy. [Determination of rational parameters for the numerical solution of systems of differential equations]. *Vestnik Khersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta.* [Bulletin of the Kherson National Technical University]. 2016, №3 (58), pp.208-212. (in Russian).
6. Radul O.A. Optymalne proektuvannya koroduyuchykh konstruktsey z vykorystannyam shtuchnykh neyronnykh mrezh. [Optimal design of corroding structures using artificial neural networks]. *Promyslove budivnytstvo ta izhenzhenerni sporudy.* [Industrial Construction and Engineering Facilities]. 2012, №1, pp.16–18. (in Ukrainian).
7. Denisyuk O.R. Modeli ta metody kerovanoho za tochnistyu chyselnoho analizu koroduyuchykh sharnirno-sterzhnevnykh konstruktsey. [Models and methods for the numerical analysis of corroding hinge-rod structures controlled by accuracy]: Author's abstract. dis ... Candidate of Technical Sciences 01.05.02 / Kharkivskiy natsionalniy universitet im. V.N. Karazina. [Kharkiv national University them. V.N. Karazin]. Kharkiv, 2017, 20 p. (in Ukrainian).
8. Alapati M. Discrete Optimization of Truss Structure Using Genetic Algorithm // *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology.* 2014, Vol.3, Issue 1. P.105–111.
9. Ashlock D. *Evolutionary Computation for Modeling and Ottimization.* New York, Springer, 2006, 572 p.
10. Haykin S. *Neyronnyye seti: polnyy kurs.* [Neural networks: a Comprehensive Foundation]. M.: Publishing House "Williams", 2006, 1104 p. (in Russian).

УДК 004.514

Кодола Г.М., Венедіктов Д.В.

ПРО МЕТОДИ ДИНАМІЧНОЇ ПОБУДОВИ ГРАФІЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА НА ОСНОВІ СТРУКТУРИ ПРИКЛАДНОЇ ОНТОЛОГІЇ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

Сучасні засоби для розробки користувацького інтерфейсу, а саме – будівники інтерфейсу і системи управління користувацьким інтерфейсом пропонують більш простий, зручний і зрозумілий підхід до розробки інтерфейсу користувача. Для реалізації основних вимог сучасного світу до розробки програмних засобів, а зокрема і графічного користувацького інтерфейсу запропонований підхід до розробки інтерфейсу, який полягає в динамічній побудові інтерфейсу користувача за допомогою загальнодоступних (opensource) технологій, в подальшому дозволить з легкістю модифікувати, а також підтримувати проект. Для вирішення проблеми динамічної побудови графічного інтерфейсу пропонується підхід до розробки інтерфейсу, заснований на онтологіях. Основна ідея підходу – формувати декларативну модель користувацького інтерфейсу на основі універсальних моделей онтологій і потім за високорівневим декларативним описом автоматично генерувати виконавчий код інтерфейсу. Для спрощення формування компоненти моделі інтерфейсу – запропонована модель онтології «графічний користувацький інтерфейс», яка описує графічні інтерфейсні елементи, їх властивості та зв'язок один з одним для формування діалогу з користувачем, використовуючи систему понять користувача, яку можна розділити на систему понять діалогу і систему понять завдань користувача. Основними елементами інтерфейсу, які призначені для угруповання в пов'язані групи і класи, є елементи типу «вікно-контейнер», елементи для операцій введення/виведення даних і виклику команд (елементи управління), елементи для опису. Кожен параметр елемента інтерфейсу складається з імені і типу його можливого значення. З кожним елементом інтерфейсу зв'язується безліччю його подій, які визначають реакції елемента інтерфейсу при його взаємодії з користувачем. Для опису безлічі можливих дій над елементом інтерфейсу використовуються функції. Запропонований підхід до розробки інтерфейсу заснований на онтологіях дозволить просто і зручно будувати інтерфейс користувача на веб-сторінці, що значно прискорить час на розробку даного етапу в реалізації проекту.

Ключові слова: графічний інтерфейс веб-додатку, прикладна онтологія, модель онтології, інтерфейсний елемент, параметри елемента інтерфейсу.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-27-33

Постановка проблеми

Розробка інформаційних систем – складне завдання, що вимагає від розробників знань в різних областях: проектування баз даних, програмування логіки роботи системи, реалізація інтерфейсу та ін. Складність розробки ще більш зростає, якщо розглядати веб-орієнтовані системи. Це пов'язано із застосуванням різних мов і засобів розробки на різних рівнях. Зазвичай для спрощення розробки використовуються

стандартні методології, архітектури та набори готових компонентів, реалізованих у вигляді «програмних каркасів» (framework). Тим не менш, при створенні подібних систем часто потрібно повторне написання коду, що реалізує схожий функціонал. Повторне кодування схожих функцій часто потрібно навіть при створенні однієї системи, наприклад, якщо мається на увазі управління однотипними об'єктами. В якості теоретичної бази для побудови таких мо-

делей об'єктів передбачається застосовувати онтології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз досліджень в даній області показав актуальність питань використання онтологій при розробці графічного інтерфейсу користувача в різноманітних предметних областях.

Зокрема, в роботі [1] Локтева Д.А. і Локтева А.А. надано проектування та реалізація на основі онтологічного підходу людино-машинного інтерфейсу, який пов'язує всі програмні модулі комплексної системи відеомоніторингу і розпізнавання об'єктів в єдиний комплекс.

В роботі [2] Грегера С.Е. та Поршнева С.В. розглядаються підходи до створення єдиної онтології архітектури інформаційної системи (ИС), засновані на методах і технологіях управління знаннями, а також спосіб її використання для узгодження функціональних і структурних описів цільової і забезпечуючих систем.

На даний час активно обговорюються проблеми використання методів семантичного підходу для узгодження описів взаємодіючих систем та способи технічної реалізації таких семантичних моделей [3–5]. Проблема онтології і використання їх в комп'ютерних системах розглядалася В. Лапшиним [6]. Детально процес розробки онтології в загальному вигляді розглянуто в роботі дослідників Н. Ной і Д. Мак Гіннеса [7]. Палагіним О.В. та Петренко М.Г. був складений тлумачний словник з інженерії знань [8], який «семантизував» терміни, які активно використовуються в ряді близьких наукових дисциплін з комп'ютерної та програмної інженерії, у вигляді онтологічного графа з клас-терним розбиттям змісту його вершин.

Однак ціла низка питань, пов'язаних з практичною реалізацією зазначених підходів, як і раніше, залишається актуальною.

Формулювання цілей статті

Розглянути теоретичні основи побудови моделей об'єктів динамічної розробки графічного інтерфейсу користувача на веб-сторінці на основі структури прикладної онтології. Описати модель побудови графічного інтерфейсу користувача для веб-додатку.

Вклад основного матеріалу дослідження

Онтологією називається спосіб формалізації предметних областей у вигляді понятійної (концептуальної) схеми, тобто системи взаємопов'язаних понять, а якщо бути більш конкретним, то онтологія — це артефакт, структура, що описує значення елементів деякої системи. На зразок класів в об'єктно-орієнтованому програму-

ванні (ООП), поняття можуть успадковуватися один від одного, при цьому обов'язково підтримується множинне спадкування, відсутнє в багатьох об'єктно-орієнтованих мовах програмування. Кожне поняття визначається набором властивостей, які повинні мати екземпляри даного поняття. Одна з відмінностей від ООП тут полягає в тому, що властивості можуть визначатися окремо від понять і поняття потім можуть складатися з наявних властивостей. Таким чином, в процесі функціонування програми шляхом комбінування відомих властивостей можуть створюватися нові поняття, які не визначені в вихідній онтології. Окремі примірники також можуть мати довільний набір властивостей і потім за допомогою процедур виведення бути віднесені до того чи іншого поняття. Підтримка процедур виведення є основною особливістю онтологій, саме на цю особливість необхідно орієнтуватися при розробці графічного інтерфейсу [9].

Сучасні засоби для розробки користувацького інтерфейсу, а саме — будівники інтерфейсу і системи управління користувацьким інтерфейсом пропонують більш простий, зручний і зрозумілий підхід до розробки інтерфейсу користувача.

Для реалізації основних вимог сучасного світу до розробки програмних засобів, а зокрема і графічного користувацького інтерфейсу (ГІК — графічний інтерфейс користувача) запропонований підхід до розробки інтерфейсу, який полягає в динамічній побудові інтерфейсу користувача за допомогою загальнодоступних (opensource) технологій, що в подальшому дозволить з легкістю модифікувати, а також підтримувати проект. В основі методу розробки лежить простота в застосуванні, що дозволить розробнику швидко і просто зрозуміти принцип роботи даного програмного забезпечення. Основними положеннями концепції розробки динамічної побудови інтерфейсу є наступні концепції [3]:

- об'єднання однорідних за структурою елементів сторінки в контейнери;
- можливість генерації елементів з різними параметрами, наприклад, ширини, висоти та інше;
- можливість додавання наповнення структурного елемента, наприклад, параграфи або заголовки;
- властивість позиціонування наповнення в залежності від батьківського елемента (елемент всередині якого знаходиться наповнювач), наприклад, позиціонування тексту по центру;

– властивість позиціонування безпосередньо елемента за допомогою курсору в будь-якій ділянці сторінки;

– можливість збереження цієї структури для подальшого використання в особистих цілях.

Для динамічної побудови графічного інтерфейсу можуть бути використані такі технології як: Angular 6, React, VueJs, Knockoutjs, Backbonejs, jQuery, jQueryUI.

На відміну від статичної побудови у розробника не буде необхідності прописувати тисячі рядків коду для створення власної теми або індивідуального дизайну, а щоб не витратити багато часу на його розташування в динамічній побудові графічного інтерфейсу буде включена функція перетягування і можливість змінювати його розмірність безпосередньо на екрані, для більшого візуального сприйняття.

Для вирішення проблеми динамічної побудови графічного інтерфейсу пропонується підхід до розробки інтерфейсу, заснований на онтологіях.

Основна ідея підходу – формувати декларативну модель користувальницького інтерфейсу на основі універсальних моделей онтологій і потім за високорівневим декларативним описом автоматично генерувати виконавчий код інтерфейсу. Для спрощення формування компонента моделі інтерфейсу – моделі виразних засобів – розроблена модель онтології «графічний користувальницький інтерфейс», яка описує графічні інтерфейсні елементи, їх властивості та зв'язок один з одним для формування діалогу з користувачем, заснованому на екранних формах [10].

Підхід для побудови ГІК, який заснований на використанні онтології для надання використовуваних понять, дозволяє більш детально описати проєктований користувальницький інтерфейс для подальшого надання в машинному коді. Для застосування такого підходу необхідно сформулювати систему понять користувача, яку можна розділити на систему понять діалогу і систему понять задач користувача.

Система понять діалогу – це система понять, через яку виражаються вхідні і вихідні дані, здійснюється інтелектуальна підтримка користувача в процесі його взаємодії з програмним засобом.

Система понять задач користувача описує задачі, які він може вирішити, використовуючи програмний засіб, при цьому окрема задача може складатися з набору підзадач. Згідно з онтологічним підходом кожен елемент WIMP-інтерфейсу

визначається своїм типом, безліччю параметрів, подій і функцій.

Онтологічний підхід включає в себе побудову кількох моделей онтологій. Існують наступні моделі онтологій [11]:

– модель онтології системи понять діалогу (ОСПД) описує структуру термінів системи понять діалогу у вигляді зв'язків між ними;

– модель онтології задач користувача (ОЗК) описує задачі, які вона може вирішити за допомогою програмного засобу;

– модель онтології WIMP-інтерфейсів складається з двох рівнів: метаонтології, призначеної для опису структури інтерфейсних елементів і безпосередньо онтології, що містить опис безлічі інтерфейсних елементів відповідно до структури, представленої в метаонтології.

– модель метаонтології WIMP-інтерфейсів (ОПР) – це безліч елементів інтерфейсу (Controls), що пов'язані з подіями (Events), які задають безліч можливих реакцій.

Також необхідно ввести поняття «звернення до елемента знань». Це поняття охоплює ті дії з елементами онтології, які будуть вважатися ключовими для запам'ятовування системою часу.

Будемо вважати, що має місце звернення до елемента знань, якщо користувач здійснював такі дії:

- створення елемента;
- додавання елемента в уявлення;
- перегляд (деталізація) елемента;
- редагування елемента;
- побудова відносин між даним елементом і іншим елементом (елементами).

Нещодавно додані, переглянуті або відредаговані елементи можуть виділятися графічно, наприклад, за рахунок упорядкування, різної інтенсивності фарбування або розміру.

Структурне відображення вищенаведених онтологічних моделей [12]:

ОСПД = <Ім'я Системи Понять, Групи Термінів>,

де Ім'я Системи Понять – ім'я системи понять діалогу;

Групи Термінів – безліч груп термінів:

Групи Термінів = {Група Термінів}.

Модель онтології задач користувача (ОЗК) описує задачі, які вона може вирішити за допомогою програмного засобу:

ОЗК = <Ім'я Загальної Задачі, Задачі>,

де Ім'я Загальної Задачі – ім'я спільної задачі;

Задачі – задачі користувача:

Задачі = <Тип Множини, {Задача}>.

де Тип Множини – тип безлічі,
Задача – задача користувача.

Основними елементами інтерфейсу, призначеними для угруповання в пов'язані групи і класи, є елементи типу «вікно-контейнер», елементи для операцій введення/виведення даних і виклику команд (елементи управління), елементи для опису. Кожен параметр елемента інтерфейсу складається з імені і типу його можливого значення. З кожним елементом інтерфейсу зв'язується безліччю його подій, які визначають реакції елемента інтерфейсу при його взаємодії з користувачем. Для опису безлічі можливих дій над елементом інтерфейсу використовуються функції [13].

Серед різних видів візуальних засобів графічного інтерфейсу, призначеного для користувача, виділяються дві основні групи – вікна та віконні елементи управління, і три додаткові – панелі управління, віконні меню і допоміжні засоби. Фрагмент ієрархії елементів ГІК (класів) представлений на рисунку.

Елемент ГІК – клас, що описує загальні для всіх елементів ГІК властивості: X (екранна координата лівого верхнього кута елемента по осі X в пікселях, тип: ціле число); Y (екранна координата лівого верхнього кута елемента по осі Y в пікселях, тип: ціле число); ширина (ши-

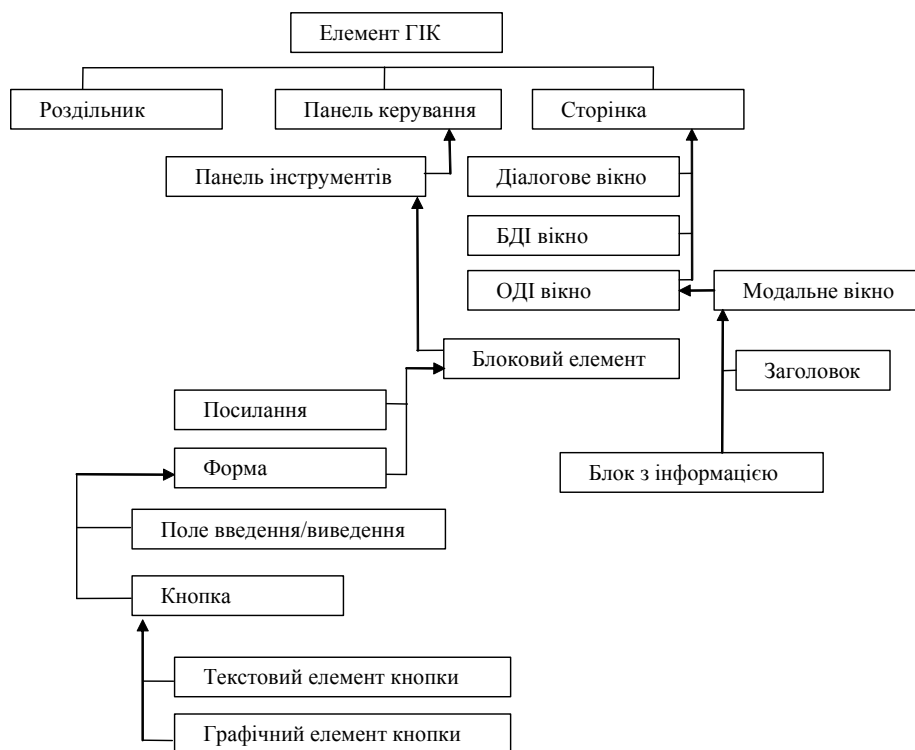
рина елемента в пікселях, тип: ціле число); висота (висота елемента в пікселях, тип: ціле число); відображення (ознака, чи відображається елемент на екрані, тип: булевський); доступність (ознака, чи доступний елемент для взаємодії з користувачем, тип: булевський); меню (кожному елементу відповідає контекстне меню у вигляді блоку даних, тип: блок даних) та ін.

ГІК елемент – основний елемент структури, який може бути використаний в онтологічному підході до розробки графічного інтерфейсу.

При розробці використовують різні моделі побудови графічного інтерфейсу, найбільш відомі з них це:

- модель однодокументного інтерфейсу (ОДІ);
- модель багатодокументного інтерфейсу (БДІ);
- модель діалогового інтерфейсу.

Серед різних видів візуальних засобів інтерфейсу, призначеного для користувача, виділяються дві основні групи – вікна та віконні елементи управління, тому що програмне забезпечення буде використовуватися для розробки графічного інтерфейсу на веб-сайтах, вікна в даному контексті будуть описуватися як блоки, а віконні елементи як блокові.



Фрагмент ієрархії елементів ГІК

Блоки є головними об'єктами в інтерфейсі. Вони структурують інтерфейс, призначений для користувача. Введення-виведення даних для кожної окремої підзадачі здійснюється у відповідному блоці. Всі інші об'єкти інтерфейсу можуть існувати тільки в якості складової частини будь-якого блоку.

Блокові елементи управління розташовуються усередині блоку. За їх допомогою користувач і здійснює безпосередню взаємодію з веб-сторінкою. Приклади блокових елементів: кнопки, поля введення, статичний текст, списки, форми та ін.

Так само існують панелі управління, які представляють собою області, що містять інтерфейсні елементи, як правило, кнопки, які прикріплюються до однієї з внутрішніх сторін вікна, або поміщаються поверх нього. Панелі управління слугують для швидкого виклику команд програми. У більшості інтерфейсів за функціями вони дублюють інші, більш потужні, але в той же час більш «повільні» засоби взаємодії з користувачем.

На панелях управління розміщуються засоби доступу до найбільш часто вживаних елементів структури або команд.

Роздільники — це елементи інтерфейсу, призначеного для користувача, які розташовуються усередині сторінки і слугують для розбиття його на самостійні частини, з кожною з яких користувач може взаємодіяти як з самостійним елементом структури. Роздільник розбиває вікно на декілька частин, організованих на екрані в будь-якій зручній користувачеві формі. Кожен такий елемент може містити власні віконні елементи управління. Роздільники в основному використовуються тільки в багатосторінковому інтерфейсі.

Окремо можна виділити модальні вікна, в яких може бути присутнім підказка, форма, необхідна для розуміння інформація, в деяких випадках такі вікна називають вікно з довідковою інформацією. Їх відображення відбувається при наведенні покажчика миші на інтерфейсний елемент і зникає при переміщенні покажчика на інший інтерфейсний елемент, або при натисканні на який-небудь елемент сторінки з реалізованим функціоналом, а закриття при натисканні на відповідну кнопку.

Висновки

За допомогою перерахованих вище технологій, понять і методологій, а також їх зв'язку з елементами об'єктної моделі документа, можлива проста і зручна реалізація динамічної по-

будови інтерфейсу користувача на веб-сторінці, що значно прискорить час на розробку даного етапу в реалізації проекту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Loktev D.A., Loktev A.A. Development of a User Interface for an Integrated System of Video Monitoring Based on Ontologies // Contemporary Engineering Sciences. — 2015. — Vol.8 — № 17. — PP.789-797.
2. Грегер С.Э., Поршнев С.В. Построение онтологии архитектуры информационной системы // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10-11. — С.2405-2409.
3. Guarino N. Formal Ontology in Information Systems // Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98 (Trento, Italy, June 6-8, 1998). — Amsterdam: IOS Press. — PP.3-15.
4. Diepenbrock A., Rademacher F., Sachweh S. An Ontology-based Approach for Domain-driven Design of Microservice Architectures // In: Eibl, M. & Gaedke, M. (Hrsg.), INFORMATIK 2017. Gesellschaft für Informatik, Bonn. — 2017. — PP.1777-1791.
5. An ontological foundation for conceptual modeling datatypes based on semantic reference spaces / Albuquerque, Antognoni; Guizzardi, Giancarlo // In: 7th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS 2013), IEEE. — 2013. — PP.1-12.
6. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rsdn.ru/article/philosophy/what-is-onto.xml>.
7. Noy N., McGuinness D. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. — Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL — 01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI — 2001-0880, March 2001 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://protege.stanford.edu/publications/ontology development/ontology101.pdf](http://protege.stanford.edu/publications/ontology%20development/ontology101.pdf).
8. Тлумачний онтографічний словник з інженерії знань / Скл. Палагін О.В., Петренко М.Г. — Київ: ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2017. — 478 с.
9. Mark Green, Robert Jacob. SIGGRAPH: 90 Workshop report: software architectures and metaphors for non-WIMP user interfaces // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. — July 1991. — № 25(3). — PP.229-235.
10. Gruber T. Toward. Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing // International Journal of Human-Computer Studies. — November 1995. — Vol.43. Issues 5-6. — PP.907-928.
11. Nirenburg S., Raskin V. Ontological Semantics. — Cambridge MA. — 2004. — 332 p.
12. Gribova V.V., Tarasov A.V. The ontology model of the «Graphical User Interface» domain // [Intelligent system], Intellektual'nye Sistemy. — 2005. — Issue 1(9).

13. *Ontology visualization methods – a survey* / Katifori A., Halatsis C., Lepouras G. et. – ACM Comput. Surv. – 2007. – Vol.39. – № 4. – 38 p.

Надійшла до редакції 22.10.2018

О МЕТОДАХ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ ПРИКЛАДНОЙ ОНТОЛОГИИ

Кодола Г.Н., Венедиктов Д.В.

Современные средства для разработки пользовательского интерфейса, а именно – построители интерфейса и системы управления пользовательским интерфейсом, предлагают более простой, удобный и понятный подход к разработке пользовательского интерфейса. Для реализации основных требований современного мира к разработке программных средств, а в частности и графического пользовательского интерфейса предложенный подход к разработке интерфейса, который заключается в динамическом построении интерфейса с помощью общедоступных (opensource) технологий, в дальнейшем позволит с легкостью модифицировать, а также поддерживать проект. Для решения проблемы динамического построения графического интерфейса предлагается подход к разработке интерфейса, основанный на онтологиях. Основная идея подхода – формировать декларативную модель пользовательского интерфейса на основе универсальных моделей онтологий и затем по высокоуровневому декларативному описанию автоматически генерировать исполнимый код интерфейса. Для упрощения формирования компоненты модели интерфейса – предложена модель онтологии «графический пользовательский интерфейс», которая описывает графические интерфейсные элементы, их свойства и связь друг с другом для формирования диалога с пользователем, используя систему понятий пользователя, которую можно разделить на систему понятий диалога и систему понятий задач пользователя. Основными элементами интерфейса, предназначенными для группировки в связанные группы и классы, есть элементы типа «окно-контейнер», элементы для операций ввода/вывода данных и вызова команд (элементы управления), элементы для описания. Каждый параметр элемента интерфейса состоит из имени и типа его возможного значения. С каждым элементом интерфейса связывается множество событий, которые определяют реакции элемента интерфейса при его взаимодействии с пользователем. Для описания множества возможных действий над элементом интерфейса используются функции. Предложенный подход к разработке интерфейса, основанный на онтологиях, позволит просто и удобно строить интерфейс пользователя на веб-странице, что значительно ускорит время на выполнение данного этапа в реализации проекта.

Ключевые слова: графический интерфейс веб-приложения, прикладная онтология, модель онтологии, интерфейсный элемент, параметры элемента интерфейса.

ABOUT METHODS OF DYNAMICALLY CONSTRUCTING GRAPHICAL USER INTERFACE BASED ON THE STRUCTURE OF APPLIED ONTOLOGY

Kodola G.N., Veniediktov D.V.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

Modern tools for developing user interfaces, namely, interface builders and user interface management systems, offer a simpler, more convenient and understandable approach to developing user interfaces. To implement the basic requirements of the modern world for software development and, in particular, for development of graphical user interface, the proposed approach to interface development, which consists in dynamically building an interface using publicly available (opensource) technologies, will make it possible to easily modify and maintain the project in the future. To solve the problem of dynamic graphical interface building, an approach to interface development based on ontologies is proposed. The main idea of the approach is to form a declarative user interface model based on universal ontology models and then automatically generate the executable interface code using a high-level declarative description. To simplify the formation of the interface model components, the ontology model “graphical user interface” is proposed, which describes the graphical interface elements, their properties and communication with each other to form a dialogue with the user, using the user concept system, which can be divided into the dialogue concept system and the concept system user tasks. The main interface elements designed to be grouped into related groups and classes are window-to-container elements, elements for data input/output operations and commands (controls), elements for description. Each parameter of an interface element consists of a name and the type of its possible value. Each interface element is associated with a set of its events that determine the reactions of an interface element when it interacts with the user. To describe the set of possible actions on an interface element, functions are used. The proposed approach to the development of an interface based on ontologies will make it easy and convenient to build a user interface on a web page, which will significantly speed up the time to complete this stage in the project implementation.

Keywords: web-application graphical interface, application ontology, ontology model, interface element, interface element parameters.

REFERENCES

1. Loktev D.A., Loktev A.A. Development of a User Interface for an Integrated System of Video Monitoring Based on Ontologies. Contemporary Engineering Sciences, 2015, vol.8, no. 17, pp.789-797.
2. Greger S.E., Porshnev S.V. Postroenie ontologii arhitektury informatsionnoy sistemy [Construction of the ontology of the architecture of the information system] Fundamentalnyye issledovaniya [Fundamental research]. 2013, no 10-11, pp.2405-2409. (in Russian).
3. Guarino N. Formal Ontology in Information Systems. Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, June 6–8, 1998, Amsterdam: IOS Press, pp.3-15.
4. Diepenbrock A., Rademacher F., Sachweh S. An Ontology-based Approach for Domain-driven Design of Microservice Architectures. In: Eibl, M. & Gaedke, M. (Hrsg.), INFORMATIK 2017, Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2017, pp.1777-1791.
5. Albuquerque, Antognoni; Guizzardi, Giancarlo An ontological foundation for conceptual modeling datatypes based on semantic reference spaces. IEEE In: 7th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS 2013), 2013, pp.1-12.
6. Lapshin V.A. Ontologii v kompyuternykh sistemakh [Ontologies in computer systems] [SoftMetaWare] URL: <http://www.rsdn.ru/article/philosophy/what-is-onto.xml>. (in Russian).
7. Noy N., McGuinness D. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. — Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL – 01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI – 2001-0880, March 2001 [SoftMetaWare], URL: [http://protege.stanford.edu/publications/ontology development/ontology101.pdf](http://protege.stanford.edu/publications/ontology%20development/ontology101.pdf).
8. Tlumachnyj ontografichnyj slovnyk z inzheneriyi znan. [An Ontographic Dictionary of Experimental Knowledge Engineering.] Skl. Palagin O.V., Petrenko M.G. Kiev: LLC “NVP Interservis”, 2017, 478 p. (in Ukrainian)
9. Mark Green, Robert Jacob. SIGGRAPH: 90 Workshop report: software architectures and metaphors for non-WIMP user interfaces. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, July 1991, no. 25(3), pp. 229-235.
10. Gruber T. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. International Journal of Human-Computer Studies, November 1995, vol.43, Issues 5-6, pp.907-928.
11. Nirenburg S., Raskin V. Ontological Semantics. Cambridge, MA, 2004, 332 p.
12. Gribova V.V., Tarasov A.V. The ontology model of the «Graphical User Interface» domain. [Intelligent system], Intellektual'nye Sistemy, 2005, Issue 1(9).
13. Katifori A., Halatsis C., Lepouras G. et. Ontology visualization methods — a survey. ACM Comput. Surv, 2007, vol.39, no. 4, 38 p.

Ляшенко О.А., Шулак В.О.

ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-МОДУЛЬНОГО ПІДХОДУ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗБАЛАНСОВАНОГО РАЦІОНУ ХАРЧУВАННЯ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

Запропоновано проектування інформаційної підсистеми визначення збалансованого раціону харчування. У зв'язку з необхідністю здорового харчування серед населення було поставлено задачу виконувати проектування підсистеми, яка вирішила би проблему підбору збалансованого харчування, з якою стикається людина, яка хоче збалансувати своє харчування. Проаналізовано існуючі публікації, системи та програмні засоби, які пов'язані із раціональним харчуванням, виявлені їх переваги, недоліки та загальне призначення. Обґрунтовано актуальність і необхідність власної розробки. В умовах науково-технічного прогресу проектуванню створюваного програмного забезпечення повинно приділятися все більше уваги з метою детального і послідовного надання компонентів досліджуваної системи і самої її структури. Авторами надано докладний процес побудови моделі процесів та моделі даних на основі методологій структурного проектування. Функціонально-модульний підхід до проектування підсистеми визначення збалансованого раціону харчування, який є частиною більш загального структурного підходу, було реалізовано за допомогою спеціалізованих програмних середовищ – CASE-засобів проектування. Підсистема, яка проектується, повинна складатися з модулів, кожен з яких виконує свої функції – від введення користувачем своїх персональних даних до отримання персонального збалансованого раціону харчування. Тому для побудови моделі процесів було обрано методології IDEF0 та DFD. Розглянутий проект включає в себе контекстну діаграму і діаграми її декомпозиції. Наведено вхідні та вихідні дані підсистеми, яка проектувалася, учасників інформаційної підсистеми, значення програмної частини, опис структури бази даних моделі та взаємодію користувача із програмним засобом. З кожної із діаграм наведено опис, чому саме використовувалася та чи інша методологія проектування. Також при проектуванні підсистеми було застосовано методологію побудови реляційних структур – IDEF1X (IDEF1 eXtended). За її допомогою розроблено логічну та фізичну модель бази даних, показано діаграму моделі із зв'язками сутностей, описано призначення таблиць у ній. У роботі зазначається, що фізична модель бази даних може бути використана як готовий модуль для програмної реалізації системи, яка проектується. Зроблено висновки щодо актуальності, корисності та зручності використання інформаційної підсистеми підбору раціонального харчування. Наведено переваги фізичного втілення системи, що проектувалася, та певні проблеми, які можуть виникнути при розробці системи.

Ключові слова: раціональне харчування, інформаційна підсистема, проектування, модель, база даних.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-34-44

Постановка проблеми

На сьогодні проблема здорового способу життя, раціонального харчування та фізичної

активності серед людей різного віку, території проживання та виду їх зайнятості є досить актуальною. Збалансоване харчування допомагає людині підтримувати нормальне функціонуван-

ня організму, адже якщо приймати їжу суворо за розкладом і дотримуватися певного режиму, то можна проводити день з більшою ефективністю і отримувати більшу користь від життя [1]. За статистикою, завдяки правильному, збалансованому харчуванню можна уникнути багатьох захворювань, організм очищується від шкідливих речовин та омолоджується [2].

Рациональне харчування — це достатнє в кількісному й повноцінне в якісному відношенні харчування здорових людей із врахуванням їх віку, статі, характеру праці та інших факторів. Основа раціонального харчування — збалансованість, тобто оптимальне співвідношення компонентів їжі. При такому харчуванні до організму надходять різноманітні поживні речовини в кількостях, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Режим харчування включає час і кількість прийомів їжі, інтервали між ними, розподіл харчового раціону за енергоємністю, хімічним складом і масою за прийомами їжі.

Калорійність їжі або енергетична цінність харчових продуктів це кількість енергії, яка утворюється при окисненні жирів, білків, вуглеводів, що міститься у продуктах харчування і витрачається на фізіологічні функції організму. Цей показник харчової цінності продуктів вимірюється в кілокалоріях (кКал) або в кілоджоулях (кДж).

У раціоні будь-якої людини обов'язково повинен бути раціональний набір білків, жирів і вуглеводів [3]. Білки — важлива частина харчування людей, оскільки вони не можуть синтезувати повний набір амінокислот і повинні отримувати частину з них із білковою їжею. Жири — важливий продукт харчування людини. Вони становлять головний компонент таких продуктів харчування, як вершкове масло, рослинні олії, маргарин та ін. Вуглеводи являють собою основний, найбільший за масою компонент раціону харчування. Вони мають дуже важливе значення в харчуванні людини, так як є важливим джерелом енергії, необхідної для забезпечення нормальної життєдіяльності організму на клітинному рівні.

Для того, щоб підібрати раціон харчування для певної людини, необхідно знати скільки та яких компонентів вона потребує. Добова потреба в енергії залежить від добових енергетичних затрат, які витрачаються на основний обмін, термогенний ефект, засвоєння їжі, фізичну діяльність та інше.

Для людини, яка не має спеціальних знань у дієтології та не має навичок побудови раціону

харчування, а також визначення власних потреб у даному напрямі, буде складно дотримуватись норм раціонального харчування. Для вирішення даної проблеми було б доцільно розробити систему персонального підбору раціону харчування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Було здійснено багато досліджень проблеми збалансованого раціону харчування, виділимо декілька з них. Так в дослідженні [4], яке було здійснено у 1990 році американським вченим Джорджем Данцигом, була описана задача «The Diet Problem» або «Задача про дієту». Суть полягає у оптимізації раціону харчування людини при мінімальних затратах на раціон. В роботі [5] було виконано оцінювання та оптимізацію раціону харчування, описано математичну постановку оптимізаційної задачі та розробку програмного забезпечення. Із недоліків можна відмітити не кросплатформеність та складність використання програмного забезпечення. Основні критерії «Задачі про дієту» та способи постановки оптимізаційної задачі для отримання оптимального раціону харчування надано в роботі [6]. В роботі [7] автором пропонується вирішення задачі оптимізації раціону харчування за допомогою MS EXCEL. Це рішення наочно показує сутність вирішення проблеми побудови збалансованого раціону харчування на досить обмеженому просторі варіюваних параметрів.

Сьогодні існує чимало різних інформаційних, комерційних, соціальних ресурсів для підтримання ведення здорового образу життя, інформаційної обізнаності в сфері дієтології, фітнесу, медицини. Звісно, розробляється достатньо інформаційних та автоматизованих систем для контролю та обліку персональних показників або результатів з вищеописаних сферах. Різні системи мають свої недоліки та переваги.

Серед таких систем слід виділити наступні групи:

1. Калькулятори показників та норм — на просторах мережі інтернет їх існує достатня кількість, кожен із них пропонує підрахувати користувачеві свої норми з раціонального харчування, тобто числові показники денного споживання нутрієнтів.

2. Сайти із рецептами та денними раціонами — велика кількість таких сайтів пропонує багато різних раціонів харчування.

3. Сайти із загальною інформацією про раціональне харчування (напр. «Зожник»), блоги, форуми — дають користувачам загальну інфор-

мацію про раціональне харчування, зазвичай мають калькулятори норм, рецепти та раціони харчування.

4. Платформи персонального контролю з харчування (напр. «GymCloud») – це зазвичай веб-додатки, які дозволяють користувачам зареєструватися в системі, вносити свої дані, отримувати кваліфіковану допомогу з раціонального харчування та інше.

5. Мобільні додатки з раціонального харчування, такі як «MyFitnessPal» та «Samsung Health» – дають можливість користувачам вносити свої дані, отримувати рекомендації з раціонального харчування, наближено рекомендовані раціони харчування та інше.

При виконанні аналізу різних систем не було знайдено ту, яка була би максимально простою для використання, не навантажуючи користувача додатковими діями або знаннями, та водночас максимально точною та завершеною.

Питанням проектування приділяється значна увага, зокрема вони надані в роботах [6,8,9].

Формулювання цілей статті

Об'єктом дослідження даної роботи є процес побудови збалансованого раціону харчування.

Предметом дослідження даної роботи є веб-базована інформаційна підсистема побудови збалансованого раціону харчування.

Метою роботи є проектування інформаційного забезпечення, а саме веб-орієнтованої системи визначення збалансованого раціону харчування за допомогою сучасних CASE-засобів проектування.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сформулюємо недоліки існуючих рішень підбору раціону харчування, виявлені на етапі аналізу відомих систем:

1. Коли людина вирішує почати харчуватися раціонально без відповідних початкових знань, їй буде складно знайти інформацію про норми, продукти та їх нутрієнти, раціони харчування або способи їх складання. Тому існує потреба у розробці комплексного рішення, яке буде супроводжувати користувача від прийняття рішення до споживання їжі.

2. Існує багато способів підрахування норм для раціонального харчування людини, вчені розробляються нові та удосконалюються існуючі. Сучасні системи пропонують багато різних методів розрахунку, які достатньо вагомо відрізняються за своїми результатами або взагалі не надають інформацію про метод розрахунку норм, а лише показують результат розрахунку. Такий підхід не є правильним, адже деякі методи роз-

рахунку можуть бути застарілими, а систему можуть використовувати і більш інформаційно обізнані люди. Для цього потрібно пропонувати користувачам максимально актуальні та точні методи розрахунку, але їх не повинно бути багато.

3. Існуючі системи або ресурси пропонують користувачам готові раціони харчування, не враховуючи потреб кожного індивідуального користувача. Навіть якщо у відомих системах користувачам виводяться їх норми раціонального харчування, то після цього їм потрібно вручну підбирати собі індивідуальний раціон харчування, а це становить певні труднощі для користувача, тим більше майже ніколи не вдається підібрати раціон харчування, який би за своїми складовими максимально точно відповідав би нормам користувача.

4. Припустимо, що користувач підібрав для себе раціон харчування. Після цього необхідно буде здійснити корегування даного раціону, для того щоб останній відповідав денній нормі споживання. Для цього необхідно самостійно додавати або віднімати вагу того чи іншого продукту харчування, який входить до цього раціону або взагалі його прибрати. При цьому кожного разу після корегування ваги, потрібно перераховувати показники компонентів (нутрієнти) продуктів харчування. Наведені вище дії потребують додаткових знань і витрат часу.

5. У готовому раціоні харчування можуть бути продукти харчування, які людина не може споживати через медичну, релігійну або просто індивідуальну заборону. Недоліком відомих систем є неможливість користувачам обирати вподобані продукти харчування в певному раціоні. Також слід зазначити, що більшість раціонів складають із «загальних» продуктів харчування (наприклад, молоко, сир, хліб тощо), тобто без зазначення виробника. Це означає, що харчова цінність одного і того ж продукту харчування може бути різною.

6. Відомі системи з формування раціонів харчування не мають відомостей про вартість продуктів харчування, які входять до них. Це достатньо вагомий показник при підборі раціону, адже різні продукти можуть дуже сильно відрізнятися за ціною, але харчова цінність буде фактично однаковою. Також може бути ситуація, при якій продукт харчування одного і того ж виробника може коштувати по-різному у різних регіонах.

7. Існуючі системи не несуть у собі адаптивний характер. Вибравши раціон харчування,

відкоригувавши його показники під свої норми, користувач не може поділитися таким раціоном із кимось іншим, тому що кожна людина має індивідуальні потреби у раціональному харчуванні.

Після виконання аналізу вищеописаних проблем існуючих сучасних систем з підбору раціонального харчування, досліджень оптимізації раціону було вирішено провести розробку власного веб-додатка, який був би максимально корисний, простий і зручний у використанні, а також вирішував би зазначені проблеми.

Важливою передумовою успішного впровадження інформаційної системи є наявність якісного опису операцій, які підлягають автоматизації, а також даних, які при цьому обробляються. Для того, щоб передбачити результати застосування підсистеми визначення збалансованого раціону харчування при різних умовах її функціонування та якомога найкраще спланувати управління процесами, які протікають в ній, необхідно виконати моделювання даної предметної області. Моделювання предметної області лежить в основі проектування інформаційних систем. Для того, щоб отримати адекватний предметній області проект інформаційної системи у вигляді, що цілком відповідає потребам користувачів і замовників, необхідно мати цілісне, системне уявлення моделі, яке відображує всі аспекти функціонування майбутньої інформаційної системи. Крім того, аналіз результатів моделювання підсистеми відкриває можливості вдосконалення процедур отримання індивідуального збалансованого раціону харчування.

На ринку ІТ-технологій існує велика кількість програмних засобів різної складності для проектування інформаційних систем, застосування яких потребує набуття відповідних навиків і підготовки. Існуючі методи і засоби використовують різні мови моделювання, методології, нотації. Існують проблеми сумісності і трудомісткості використання бізнес-процесів.

Проектування підсистеми визначення збалансованого раціону харчування було виконано з позицій системного підходу до створення інформаційних систем [8]. При виконанні декомпозиції системи було застосовано функціонально-модульний підхід до проектування. Процес проектування було виконано за допомогою спеціалізованих програмних середовищ – CASE-засобів проектування: Process Modeler та Data Modeler. У першому програмному середовищі здійснено опис системи в термінах ієрархії її функцій і передачі інформації між ок-

ремими функціональними елементами. У другому – моделювання структури бази даних з подальшим експортом в систему управління базами даних (СУБД).

З точки зору проектування CASE-засіб для створення моделі процесів є найбільш вдалим для проектування програмного продукту, де необхідно показати принцип функціонування системи, а також для можливості коректного розширення та доповнення вже існуючої системи в майбутньому, що є необхідною складовою будь-якої інформаційної підсистеми.

В даній роботі було використано три методології – опису бізнес-процесів (IDEF0) та опису потоків даних (DFD) – при моделюванні процесів проекту та IDEF1X – при моделюванні даних.

На першому етапі проектування було створено контекстну діаграму «Підбір сбалансованого раціону харчування» (рис. 1) за допомогою методології IDEF0. На вхід подається анкета учасника системи. Механізмами є користувачі та персональний комп'ютер (ПК). В якості управління виступають правила та процедури, які задають порядок роботи системи. На виході маємо збалансований раціон харчування.

Анкета учасника системи – це набір даних конкретного користувача, які необхідні для розрахунку його індивідуальної норми калорійності та нутрієнтів і підбору денного раціону харчування.

Користувачі – особи, які будуть використовувати систему з метою отримання рекомендацій з раціонального харчування.

ПК або сервер – механізм функціонування системи та веб-додатка, який забезпечує розрахунки, збір, відображення даних, їх зберігання у базі даних і цілісність.

Правила та процедури – набір певних правил функціонування системи та взаємодії об'єктів.

Збалансований раціон харчування – рекомендований системою денний раціон харчування, який максимально точно відповідає нормам харчування користувача та цілям, які він задає при заповненні анкети.

Наступна діаграма – декомпозиція контекстної діаграми – також виконана в нотації IDEF0 (рис. 2). Вона відображає основні функції системи, які повинна виконувати система.

Ця діаграма відображає такі процеси:

- введення персональних даних користувача;
- розрахунок і виведення рекомендацій з кількості нутрієнтів харчування;

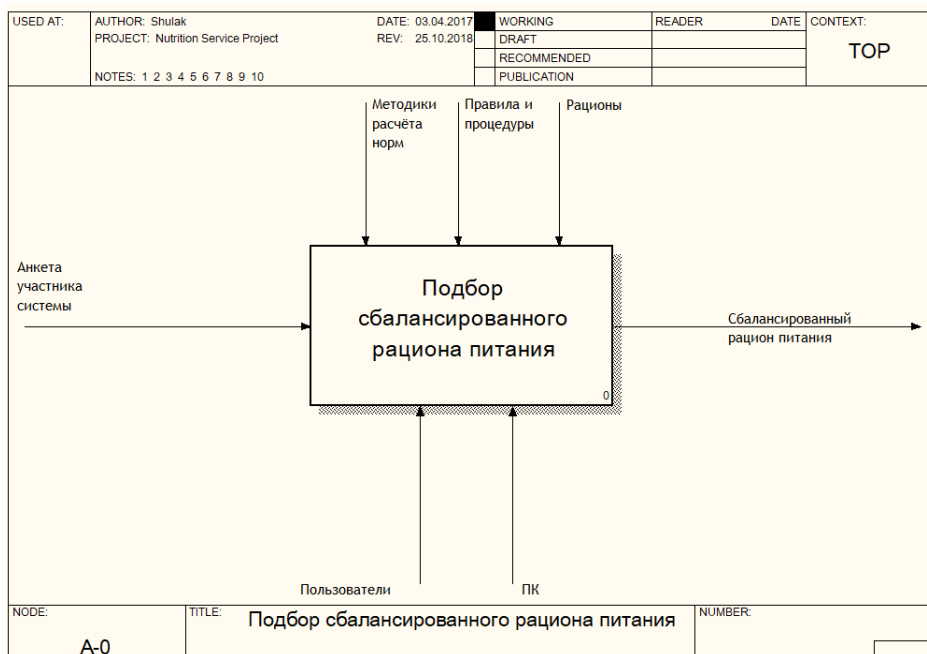


Рис. 1. Контекстна діаграма

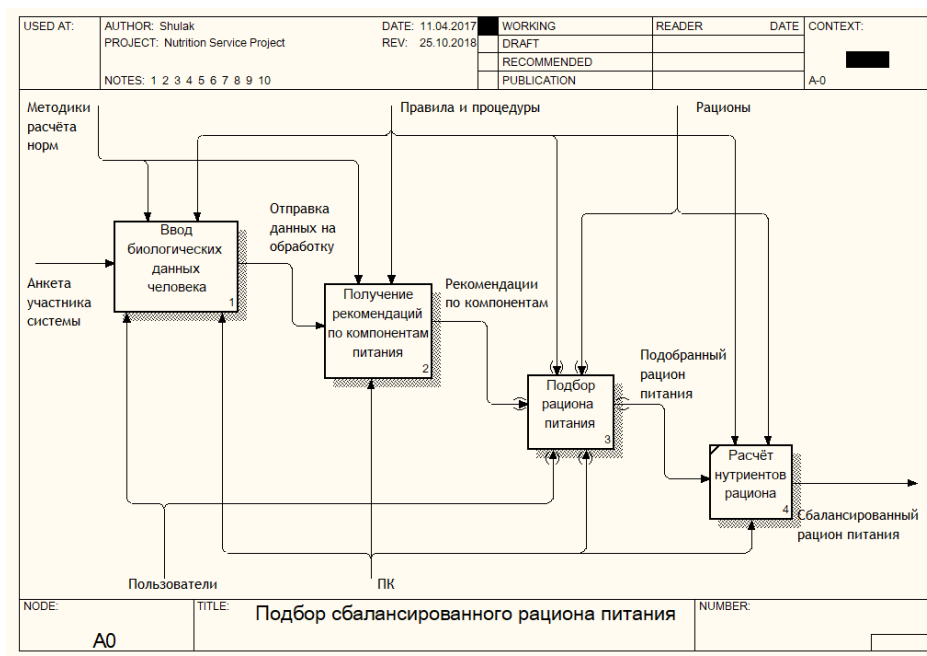


Рис. 2. Декомпозиція контекстної діаграми

— процес вибору раціону харчування;
— розрахунок кількості нутрієнтів для обраного раціону.

Так, як користувачі повинні обов'язково вводити свої біологічні дані, то першим кроком стоїть введення цих даних до системи у вигляді анкети.

Після процесу заповнення анкети дані об-

робляються сервером і відправляються на подальшу обробку. Після обробки даних, користувач отримує власні рекомендації з величин індивідуальної фізіологічної потреби організму в їжі, а саме кількість нутрієнтів харчування.

Після того як норми підраховані та виведені користувачеві дані передаються в наступний блок — підбір підходящого раціону харчу-

вання користувачеві серед тих, які наявні у системі. На виході користувачеві виводяться рекомендовані до споживання раціони харчування.

Отримання рекомендацій з раціону харчування та вивід найбільш підходящих раціонів виконується на сервері.

Декомпозиція блоку «Ввод биологических данных человека» з використанням методології IDEF0 надано на рис. 3. Ця діаграма відображає процес введення користувачем даних до системи, які необхідні для розрахунку кількості нутрієнтів, які є величинами індивідуальної фізіологічної потреби організму. Ця діаграма відображає наступні процеси:

- вибір методу розрахунку серед запропонованих в системі;
- введення базових даних для розрахунку кількості нутрієнтів у вигляді персональних даних і показників;
- введення додаткових даних.

Базові дані — це загальні дані, які необхідні при розрахунку індивідуальної кількості нутрієнтів. Ці дані використовуються в будь-якому із запропонованих методик розрахунку. Дана інформація являє собою відомості про біометричний стан користувача: стать, вік, зріст, вага, рівень активності користувача, кінцева мета отримання індивідуального розрахунку.

Додатковими даними можуть бути спеціальні показники, які необхідні тільки для певного методу розрахунку, наприклад, загальний

рівень жиру у організмі.

Після того, як користувач вводить усі дані у правильному форматі, вони відправляються на обробку системою.

Декомпозиція роботи «Получение рекомендаций по компонентам питания» була виконана за допомогою методології IDEF0 (рис. 4). Процес виконується системою, без участі користувача.

Основний обмін або Basal Metabolic Rate (BMR) — це енерговитрати організму в стані повного спокою, які забезпечують функції всіх органів і систем, підтримують температуру тіла.

Ця діаграма відображає наступні процеси:

- розрахунок BMR користувача;
- розрахунок норми енергозатрат;
- розрахунок рекомендованої норми калорійності харчування;
- розрахунок норми КБЖВ (калорії, білки, жири, вуглеводи).

На вході подаються параметри певного користувача, для якого виконується розрахунок, такі як: вік, стать, вага, зріст, рівень активності, мета.

Усі параметри пов'язані між собою, тому з недостатньою хоча б одного компонента неможливо буде розрахувати інші. Усі розрахунки проводяться на сервері системи. Розрахунок також виконується при зміні вхідних даних користувача.

На виході стоять рекомендовані певному

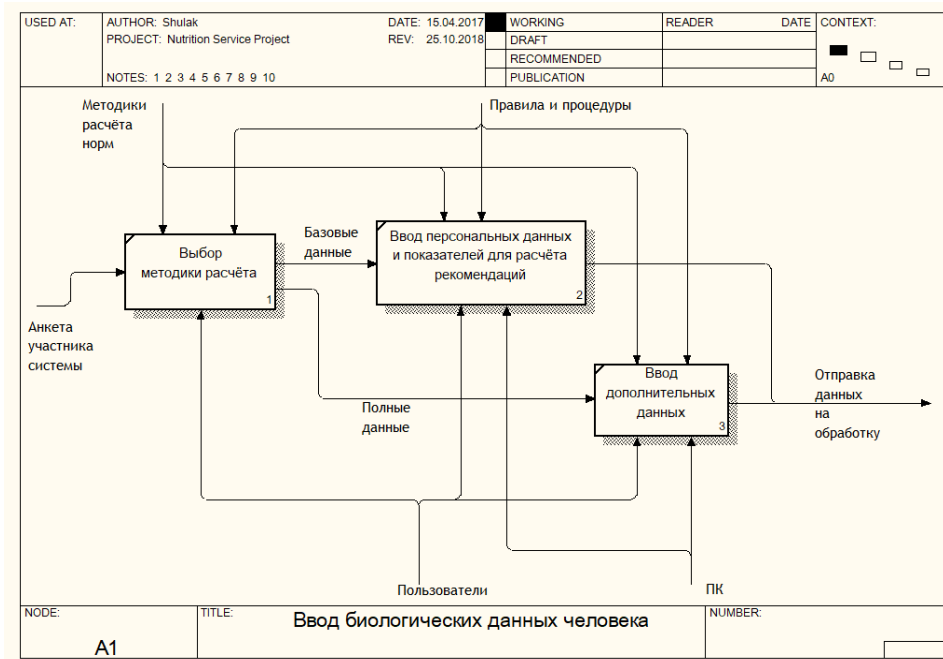


Рис. 3. Декомпозиція «Ввод биологических данных человека»

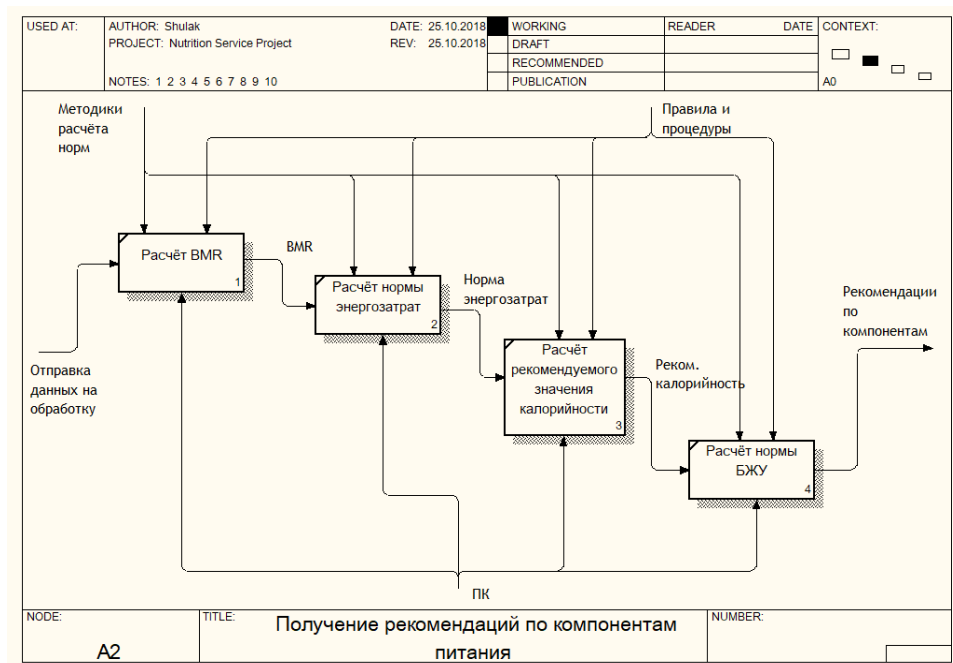


Рис. 4. Декомпозиція «Получение рекомендаций по компонентам питания»

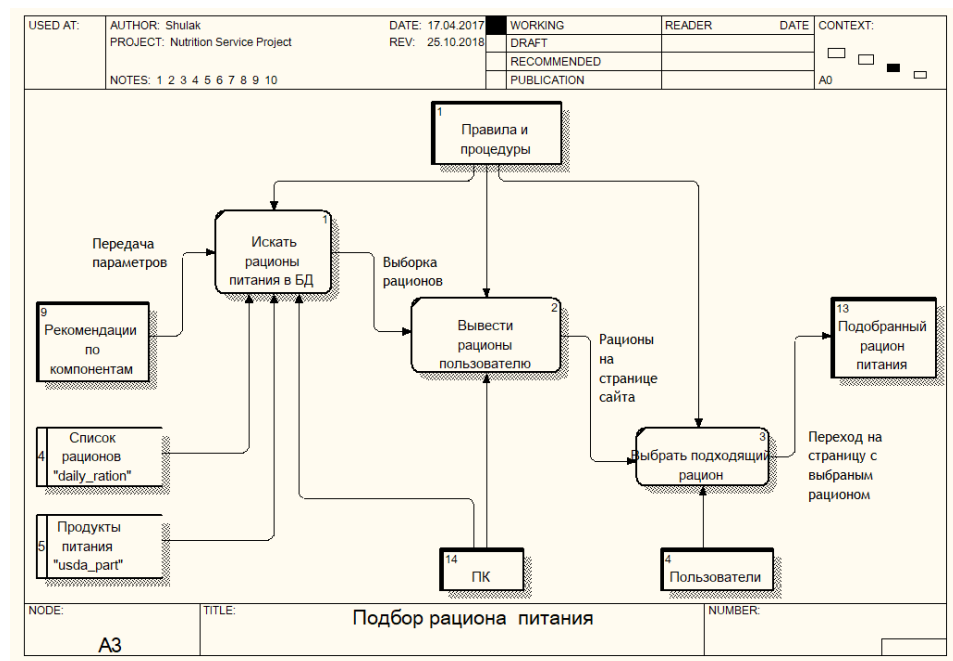


Рис. 5. Декомпозиція «Подбор рациона питания»

користувачу норми.

Декомпозиція роботи «Подбор рациона питания» була виконана за допомогою методології DFD та надана на рис. 5.

Процес можна розділити на такі складові:

- пошук раціонів в базі даних сервером;
- виведення знайдених раціонів користувачу;

- вибір користувачем вподобаного раціону;
- рекомендовані норми з раціонального харчування;
- підібраний раціон харчування.

На даній діаграмі, також показано сховище даних «Список рационов», у фізичному наданні – це прототип таблиці з раціонами харчу-

вання майбутньої бази даних.

Сервером здійснюється пошук раціонів у базі даних системи, збирається інформація про них та виводиться користувачеві у вигляді назви, зображення та короткого опису раціону.

Після цього користувач повинен визначитися із вибором раціону, який йому сподобався. Коли користувач вибирає раціон, здійснюється перехід на сторінку із повною інформацією про раціон харчування та продукти харчування, які входять до нього.

Наступним кроком проектування було створення логічної та фізичної моделей даних за допомогою Data Modeller. Було спроектовано ER-модель бази даних, на рис. 6 показано її логічне надання. База даних має дві головні таблиці – «usda_part» та «daily_ration». Перша таблиця зберігає дані про продукти харчування та їх хімічний склад, які були взяті із відкритих джерел, таких як [10], друга – дані про раціони хар-

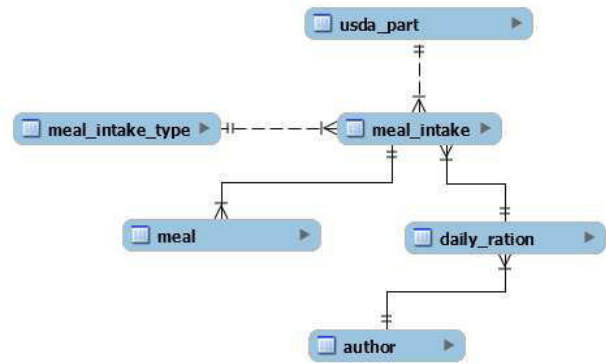


Рис. 6. Логічна модель бази даних

чування, які наявні у системі. Таблиця «meal_intake» зберігає дані про раціони харчування, а таблиця «meal» – дані про продукт, який відноситься до конкретного раціону зі своїми параметрами. Таблиця «author» зберігає дані про автора певного раціону харчування.

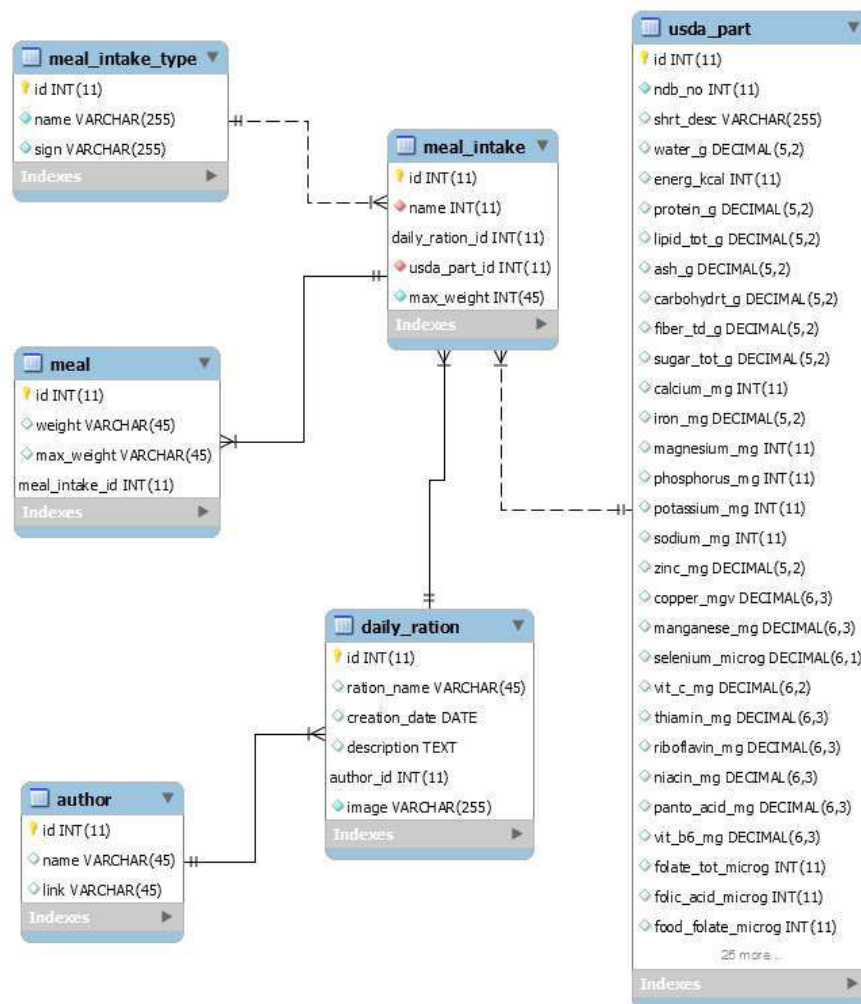


Рис. 7. Фізична модель бази даних

На рис. 7 зображено фізичну модель даних, яка залежить від конкретної СУБД, фактично являючись відображенням системного каталогу.

Програмне середовище Data Modeller на основі фізичної моделі надає можливість згенерувати системний каталог СУБД або відповідний SQL-скрипт, які в подальшому можуть бути доопрацьовані з тим, щоб спроектована база даних могла виконувати свої функції на сервері. Так як для розробки даної системи планується використання бази даних MySQL, то на вході потрібно мати файл SQL-коду, отже експорт фізичної моделі було здійснено в MySQL.

Для зручної роботи з фізичною базою даних, готовий SQL-файл відкривається в середовищі MySQL Workbench.

Висновки

Було виконано проектування інформаційної підсистеми визначення збалансованого раціону харчування. Проектування розділено на модулі, як у для кращої структуризації інформації та полегшення програмної реалізації цієї підсистеми. Розроблені діаграми дозволять розробнику краще розуміти процеси, які виконуються у системі.

Спроектовану базу даних можна брати для її фізичного використання у майбутній підсистемі.

Ця підсистема має значні переваги перед існуючими розробками з підбору раціонального харчування. Майбутній додаток буде корисним та зручним для кінцевого споживача.

Спроектована підсистема виконує такі функції, які не мають інші розробки:

- комплексний метод підбору раціонального харчування;
- вибір продуктів харчування раціону за індивідуальним бажанням;
- автоматичний розрахунок ваги продуктів харчування;
- вивід вартості раціону та окремих продуктів виходячи з їх ваги.

На даний момент система має невелику базу даних продуктів харчування, через складність доступу до актуальних даних, але наразі ведеться робота з розширення бази даних і здійснення її актуалізації.

Побудована із застосуванням засобів структурного аналізу функціональна модель є складовою технічного завдання, а результати проектування є основою для його розробки. В результаті такого моделювання конкретизується завдання, зменшується обсяг інформації, яку необхідно опрацювати, з'являється можливість

структуризації та формалізації задачі. Наведені діаграми процесу дають можливість з високим ступенем точності описати процедури і функції, які виконуються системою, а також простежити за їх послідовністю, виключити можливі помилки у визначенні фактів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Exercise and Sport Nutrition: principles, promises, science and recommendations* / Kreider R., C. Leutholtz B., Katch F., Katch V. — Fitness Technologies Press, 2009. — 560 p. ISBN 10: 0974296562 / ISBN 13: 9780974296562
2. *Biology's response to dieting: the impetus for weight regain* / Maclean P.S., Bergouignan A., Cornier M.A., Jackman M.R. — *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2011. — 581-600 p.
3. Федоров А.О., Федорова В.О. Оптимізація макрокомпонентів продовольчих товарів при харчуванні // Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. Економічні науки. — 2012. — Вип. 3. — С. 335-340. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchtei_2012_3_61.
4. Dantzig G.B. The Diet Problem // *Interfaces*. — 1990. — Vol 20. — No. 4. — P.43-47.
5. Фалина Е.В. Автоматизированная оценка и оптимизация состава продуктового рациона: Дис...канд. техн. наук: 05.13.06. — М.: РГБ, 2005. — 130 с.
6. Шулак В.О., Ляшенко О.А. Проектування інформаційної підсистеми визначення збалансованого раціону харчування // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2018): матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. — Дніпро: Баланс-клуб, 2018. — С.188-189.
7. Леоненков А.В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 704 с.
8. Маклаков С. Моделирование бизнес-процессов с BPwin 4.0. — М.: Изд-во «Диалог МИФИ». — 2002. — 224 с.
9. Ляшенко О.А., Кузьменко І.В. Побудова функціональної моделі розрахунку навантаження професорсько-викладацького складу кафедри // Вісник Нац. технічного ун-ту «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. — 2012. — № 17. — С.20-26.
10. Нестерина М.Ф., Скурихина И.М. Химический состав пищевых продуктов. Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, микро- и макроэлементов, органических кислот и углеводов. — М.: Пищ. Промышленность. — 1979. — 247 с.

Надійшла до редакції 08.11.2018

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОДУЛЬНОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПОДСИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОГО РАЦИОНА ПИТАНИЯ

Ляшенко О.А., Шулак В.А.

Предложено проектирование информационной подсистемы определения сбалансированного рациона питания. В связи с необходимостью здорового питания среди населения была поставлена задача провести проектирование подсистемы, которая решила бы проблему подбора сбалансированного питания, с которой сталкивается человек, который хочет сбалансировать свое питание. Проанализированы существующие публикации, системы и программные средства, связанные с рациональным питанием, выявлены их преимущества, недостатки и общее назначение. Обоснована актуальность и необходимость собственной разработки. В условиях научно-технического прогресса проектированию создаваемого программного обеспечения должно уделяться все больше внимания с целью детального и последовательного представления компонентов исследуемой системы и самой ее структуры. Авторами представлено детальный процесс построения модели процессов и модели данных на основе методологий структурного проектирования. Функционально-модульный подход к проектированию подсистемы определения сбалансированного рациона питания, который является частью более общего структурного подхода, был реализован с помощью специализированных программных сред – CASE-средств проектирования. Подсистема, которая проектируется, должна состоять из модулей, каждый из которых выполняет свои функции – от ввода пользователем своих персональных данных до получения персонального сбалансированного рациона питания. Поэтому для построения модели процессов были выбраны методологии IDEF0 и DFD. Рассмотренный проект включает в себя контекстную диаграмму и диаграммы ее декомпозиции. Приведены входные и выходные данные подсистемы, которая проектировалась, участников информационной подсистемы, роль программной части, описание структуры базы данных модели и взаимодействие пользователя с программным средством. По каждой из диаграмм приведено описание, почему использовалась та или иная методология проектирования. Также при проектировании подсистемы была применена методология построения реляционных структур – IDEFIX (IDEFI eXtended). С ее помощью разработаны логическая и физическая модели базы данных, показано диаграмму модели со связями сущностей, описано назначение таблиц в ней. В работе отмечается, что физическая модель базы данных может быть использована как готовый модуль для программной реализации системы, которая проектируется. Сделаны выводы об актуальности, полезности и удобстве использования информационной подсистемы подбора рационального питания. Приведены преимущества физического внедрения системы, которая проектировалась и определенные проблемы, которые могут возникнуть при разработке системы.

Ключевые слова: рациональное питание, информационная подсистема, проектирование, модель, база данных.

APPLICATION OF A FUNCTIONAL-MODULAR APPROACH TO DESIGNING A SUBSYSTEM FOR DETERMINING THE BALANCED DIET

Liashenko O.A., Shulak V.O.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The design of an information subsystem for the determination of a balanced diet is proposed. In connection with the need for healthy eating among the population there is the task of designing a subsystem that would solve the problem of selection of balanced nutrition, faced by a person who wants to balance their diet. The existing publications, systems and software tools related to rational nutrition have been analyzed, their advantages, drawbacks and general purpose are revealed. The urgency and necessity of own development are substantiated. In the conditions of scientific and technological progress, the design of software to be created should be given more and more attention in order to provide a detailed and consistent representation of the components of the investigated system and its structure. The authors present a detailed process of constructing a model of processes and data models based on structured design methodologies. Functionally-modular approach to the design of a subsystem of the definition of a balanced diet, which is part of a more general structural approach, was implemented with the help of specialized software environments – CASE-design tools. The designed subsystem should consist of modules, each of which performs its functions – from user input of their personal data to obtaining a personalized balanced diet. Therefore, IDEF0 and DFD methodologies were chosen to construct a process model. The considered project includes a context diagram and diagrams of its decomposition. The input and output data of the subsystem being designed, participants of the information subsystem, the role of the program part, the description of the structure of the model database and the interaction of the user with the software tool are given. Each diagram gives a description of why one or another design methodology was used. Also, when designing the subsystem, a methodology for constructing relational structures – IDEFIX (IDEFI eXtended) was applied. With its help the logical and physical model of the database is developed, the diagram of the model with connections of entities is shown, and the purpose of the tables in it is described. The paper notes that the physical model of the database can be used as a ready-made module for the software implementation of the system being designed. Conclusions regarding the relevance, usefulness and convenience of using the information subsystem of selection of rational nutrition are made. The advantages of the physical embodiment of the system being designed and certain problems that may arise when developing the system are given.

Keywords: rational nutrition, information subsystem, design, model, database.

REFERENCES

1. Kreider R., C. Leutholtz B., Katch F., Katch V. Exercise and Sport Nutrition: principles, promises, science and recommendations. Fitness Technologies Press, 2009. 560 p. ISBN 10: 0974296562 / ISBN 13: 9780974296562
2. Maclean P.S., Bergouignan A., Cornier M.A., Jackman M.R. Biology's response to dieting: the impetus for weight regain. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2011. 581-600 p.
3. Fedorov A.O., Fedorova V.O. *Optimizacija makrokomponentiv prodovol'chih tovariv pry harchuvanni* [Optimization of macrocomponent of food products at nutrition]. *Visnyk Chernivec'kogo torgovel'no-ekonomichnogo instytutu. Ekonomichni nauky* [Bulletin of the Chernivtsi Trade and Economic Institute. Economic sciences]. 2012. vol. 3, pp.335-340. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchtei_2012_3_61. (in Ukrainian)
4. Dantzig G.B. The Diet Problem. *Interfaces*, 1990. vol. 20, no. 4, pp.43-47.
5. Falyna E.V. *Avtomatyzirovannaja ocenka y optymyzacija sostava produktovogo racyona* [Automated evaluation and optimization of the composition of the product diet]: Dis. 05.13.06. M., PGB, 2005. 130 p. (in Russian)
6. Shulak V.O., Ljashenko O.A. *Proektuvannja informacijnoi' pidsystemy vyznachennja sbalansovanogo racionu harchuvannja* [Designing an information subsystem for determining a balanced diet] // *Komp'juterne modeljuvannja ta optyimizacija skladnyh system (KMOSS-2018): materialy IV Mizhnarodnoi' naukovu-tehnicnoi' konferencii' (m. Dnipro, 1-2 lystopada 2018 roku)* [Computer modeling and optimization of complex systems (KMOSS-2018): materials of the IV International Scientific and Technical Conference (Dnipro, November 1-2, 2018)]. Dnipro, Balans-klub, 2018. pp.188-189. (in Ukrainian)
7. Leonenkov A.V. *Reshenie zadach optimizatsii v srede MS Excel* [Solving optimization problems in MS Excel.]. SPB., BHV-Peterburg, 2005. 704 p. (in Russian)
8. Maklakov S. *Modelirovanie biznes-protsessov s BPwin 4.0*. [Modeling business processes with BPwin 4.0]. M., «Dialog MIFI», 2002. 224 p. (in Russian)
9. Liashenko O.A., Kuz'menko I.V. *Pobudova funkcional'noi' modeli rozrahunku navantazhennja profesors'ko-vykladac'kogo skladu kafedry* [Construction of a functional model for calculating the load of the teaching staff of the department]. *Visnyk Nacional'nogo tehnicnogo universytetu «HPI». Zbirnyk naukovykh prac'. Tematychnyj vypusk: Novi rishennja v suchasnykh tehnologijah* [Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of scientific works. Thematic issue: New solutions in modern technologies]. Kharkiv, NTU «KhPI», 2012. №17, pp. 20-26. (in Ukrainian)
10. Nesteryna M.F., Skuryhyna Y.M. *Himicheskij sostav pishhevyh produktov. Spravochnye tablicy sodержanija aminokislot, zhirnykh kislot, vitaminov, mikro- i makroelementov, organicheskikh kislot i uglevodov* [Chemical composition of food products. Table of contents of amino acids, fatty acids, vitamins, micro-and macroelements, organic acids and carbohydrates]. M., Pyshh. Promyshlennost'. 1979. 247 p. (in Russian)

УДК 004.9

Мухін В.Є., Побережніченко В.Ю.

МЕХАНІЗМИ ГРУПУВАННЯ ТА ДЕКОМПОЗИЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ГРАФІВ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПІДСИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСАМИ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Ефективне управління організаційними і технологічними процесами підприємств і організацій потребує виконання попереднього моделювання внутрішніх бізнес-процесів для визначення особливості бізнес-процесів протягом всього життєвого циклу продукції або послуг. Дані процеси є одним з найбільш складних об'єктів опису і моделювання. В роботі розглянуто проект розробки повітряного судна та виконано моделювання бізнес-процесу його побудови. При здійсненні експериментальних досліджень за допомогою середовища PIPE виявилось, що при навіть незначному числі ресурсів здійснення експериментальних досліджень з використанням класичних засобів обчислювальної техніки є неможливим. Комп'ютерна система не має достатніх ресурсів пам'яті і процесора для виконання даного завдання, зважаючи на відносно велику кількість вершин в графі бізнес процесу. Для вирішення цієї задачі запропоновано застосувати інтенсивний підхід, а саме провести групування подій початкового директивного графа. Запропоновані і обґрунтовані підходи та методи моделювання складних графів, механізми групування та декомпозиції мережеских графів для підсистем управління бізнес-процесами, які дозволяють суттєво розширити можливості моделювання бізнес-процесів з великою кількістю ресурсів. Введено поняття метаграфа, крім того, окрім процедури групування, проводиться декомпозиція графа бізнес-процесу на структурні елементи. Фактично, метаграф об'єднує окремі структурні елементи, які утворилися внаслідок декомпозиції початкового графу. Виконано моделювання метаграфу, в якому надані, як згруповані за наведеним вище принципом, так і окремі декомпозовані ділянки графа. Декомпозиція проводилась для тих ділянок, які мають в середині розгалуження, але всі при цьому розгалуження повинні починатися з однієї точки і також сходиться в одній точці. Експериментальні дослідження підтвердили, що запропоновані підходи дозволяють значно зменшити час, який витрачається на процедуру моделювання, зокрема за допомогою середовища моделювання з підтримкою режиму багатопоточності, що суттєво розширює можливості моделювання бізнес-процесів з великою кількістю ресурсів.

Ключові слова: бізнес-процеси, системи управління, метаграф, мережі Петрі, декомпозиція.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-45-53

Вступ

Постановка проблеми

В даний час на сучасних підприємствах і організаціях часто формуються системи підтримки автоматизації обробки внутрішніх бізнес-процесів, які складаються з системи автоматизації ресурсів і обладнання та інформаційно-керуючі

системи підприємства [1–5]. Для ефективного управління організаційними і технологічними процесами підприємств і організацій доцільно здійснити попереднє моделювання внутрішніх бізнес-процесів, що дозволить виявити особливості реалізованих бізнес-процесів протягом всього життєвого циклу продукції або послуг.

Дані процеси є одним з найбільш складних об'єктів опису і моделювання [6,7].

Введення поняття «бізнес-процес» при моделюванні дозволяє виконати аналіз виконуваних завдань і дозволяє декомпонувати процеси, зокрема, за функціональною ознакою [1,4,8–11]. В цілому моделювання займає все більшу і більшу частину в наукомістких галузях економіки, зокрема, моделювання внутрішніх бізнес-процесів дозволяє зберегти ресурси і час, а також оптимізувати процеси розробки морських і річкових кораблів, повітряних суден, космічних апаратів. Очевидно, що без попереднього адекватного моделювання бізнес-процесів в таких складних системах не має сенсу переходити до будівництва реального об'єкта [8–11].

В процесі опису складних об'єктів та систем моделювання виникає важлива проблема: при використанні класичних засобів обчислювальної техніки здійснення експериментальних досліджень при навіть незначному числі ресурсів є неможливим. Це пов'язано з тим, що класична комп'ютерна система не має достатніх ресурсів пам'яті і процесора для виконання моделювання, зважаючи на відносно велику кількість вершин в графі бізнес-процесу. Розв'язання цієї проблеми дозволить розширювати можливості моделювання бізнес-процесів з великою кількістю ресурсів з використання класичних програмно-апаратних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні в низці публікацій [2–7,12,13] розглядається проблема моделювання складних систем, в тому числі бізнес-процесів, за допомогою засобів комп'ютерної техніки. При цьому розглядається лише теоретична сторона питання, а проблемам практичної реалізації механізмів моделювання в умовах значної кількості ресурсів увага майже не приділяється, хоча експериментальні дослідження показали наявність істотних проблем в даному контексті.

Метою статті є розробка механізмів групування подій початкового директивного графа та декомпозиції складних бізнес-процесів, які дозволять виконати моделювання початкового графу бізнес-процесу зі значною кількістю ресурсів за декілька етапів з використанням класичних програмно-апаратних засобів комп'ютерних систем.

Основний матеріал

Директивний мережевий граф опису бізнес-процесу розробки повітряного судна

Для прикладу розглянемо проект розробки повітряного судна, який надано в [13], та вико-

наємо моделювання бізнес-процесу його побудови.

В [13] виділено наступний перелік подій бізнес-процесу процедури розробки повітряного судна, який надано у вигляді директивного мережевого графа (рис. 1).

Основними складовими мережевого графа цього бізнес-процесу є [13]:

- 1-2: Затвердження аванпроекту
1. Двигун
- 2-3 Зіставлення технічного завдання (ТЗ) на двигуни
- 3-4 Затвердження ТЗ на двигуни
- 4-5 Створення і поставка двигунів
2. Моделі
- 2-6 Проектування моделей для отримання розрахункових даних
- 6-7 Виготовлення моделі для видачі початкових розрахункових даних
3. Макет
- 2-9 Проектування макета
- 9-10 Будівництво і обладнання макета
- 10-11 Макетна комісія
4. Ескізний проект
- 2-12 Розробка ескізного проекту
- 2-41 Підготовка і випуск наказу з визначення заводів – постачальників, термінів проектування
- 41-42 Розрахунок трудоемності робочого проектування виробу. Зіставлення і затвердження планів і графіків проектування і будівництва виробу
- Проектування та будівництво планера
- 12-13 Розробка конструктивних та силових схем фюзеляжу, крила, шасі, пілонів. Випуск теоретичних креслень
- 13-14 Замовлення основних матеріалів: поковок, штампованих заготовок, панелей, профілів, листів
- 13-15 Поставка основних матеріалів
- 13-16 Випуск робочих креслень фюзеляжу, крила, шасі, пілонів
- 16-17 Виготовлення деталей планера
- 13-18 Підготовка до виробництва: проектування та монтаж стапелів, виготовлення плазів, шаблонів, оснастки; розробка і освоєння нових технологічних процесів (дослідницькі партії)
- 18-19 Стапельна збірка фюзеляжу, крила, шасі, пілонів
- 19-20 Стиковка агрегатів планера
- 20-21 Навіска двигунів і монтажні роботи
- 21-22 Постановка виробу під струм. Цехова відробка систем
- 22-23 Лабораторна відробка систем виробу

23-24 Частотні випробування
 24-25 Надання виробу відділу контролю якості
 25-26 Аеродромні випробування виробу. Руліжка. Перший політ виробу
 5. Робоче проектування і виробництво обладнання
 12-27 Уточнення принципів схем у відділах робочого проектування
 27-28 Внесення зауважень макетної комісії. Випуск принципів схем систем
 28-29 Робочі креслення на обладнання, вбудованого в каркас
 29-31 Виробництво деталей обладнання, вбудованого в каркас
 29-30 Робочі креслення обладнання, встановленого при загальній збірці
 30-32 Виробництво деталей обладнання, встановленого при загальному складанні виробу
 6. Готовий виріб
 12-33 Зіставлення технічного завдання на готовий виріб
 33-34 Узгодження і затвердження ТЗ на готовий виріб
 34-35 Надходження виробів, вбудованих в каркас
 35-36 Надходження виробів, встановлювальних при загальному складанні
 7. Проектування, будівництво і робота на стендах
 12-37 Визначення першочергових стендів та ТЗ на них
 37-38 Проектування стендів першої черги
 38-39 Будівництво стендів першої черги
 39-40 Проведення відпрацювання на стендах першої черги
 8. Виріб для статичних випробувань
 43-44 Збірка виробу для статичних випро-

бувань

44-45 Підготовка до здійснення статичних випробувань 1-етапу

45-46 Проведення статичних випробувань 1-етапу та видача результатів.

Для моделювання наданого вище мережевого графіка використовувалось середовище PIPE версії 4.3 [14], яке дозволяє виконати моделювання бізнес-процесів, наданих у вигляді мережі Петрі. На рис. 2 показано надання початкового директивного мережевого графа в середовищі для моделювання.

Експериментальні дослідження параметрів бізнес-процесу розробки повітряного судна

При здійсненні експериментальних досліджень за допомогою середовища PIPE версії 4.3 виявилось, що при навіть незначному числі фішок (всього 4), здійснення експериментальних досліджень з використання класичних засобів обчислювальної техніки (процесор AMD A10-5750M, обсяг пам'яті 8 Gb) виявляється неможливим. Комп'ютерна система не має достатніх ресурсів пам'яті і процесора для виконання даного завдання, зважаючи на відносно велику (40) кількість вершин в графі бізнес-процесу. Результати експериментальних досліджень за допомогою середовища PIPE версії 4.3 надані в табл. 1.

Таблиця 1

Результати моделювання початкового графу

Номер експерименту	Кількість фішок	Час моделювання, с	Обмежений
1	1	0,9	ТАК
2	2	4,4	ТАК
3	3	57,1	ТАК
4	4	6000	—

Примітка: — завершити не вдалося.

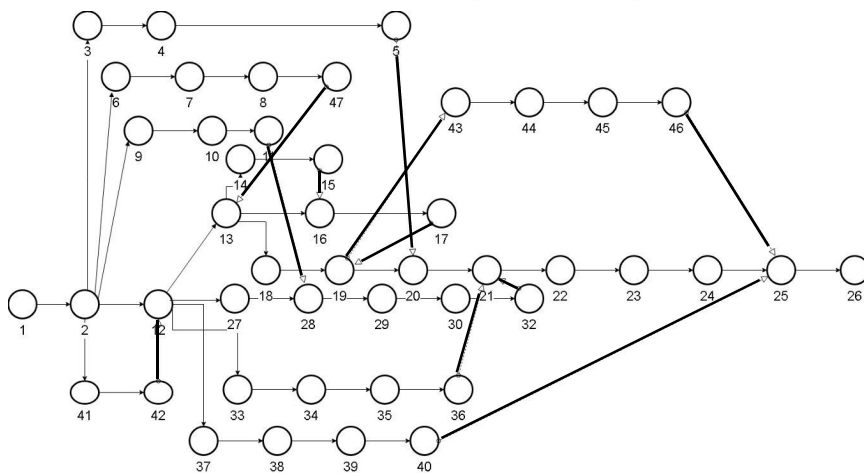


Рис. 1. Початковий директивний мережевий граф бізнес-процесу розробки повітряного судна

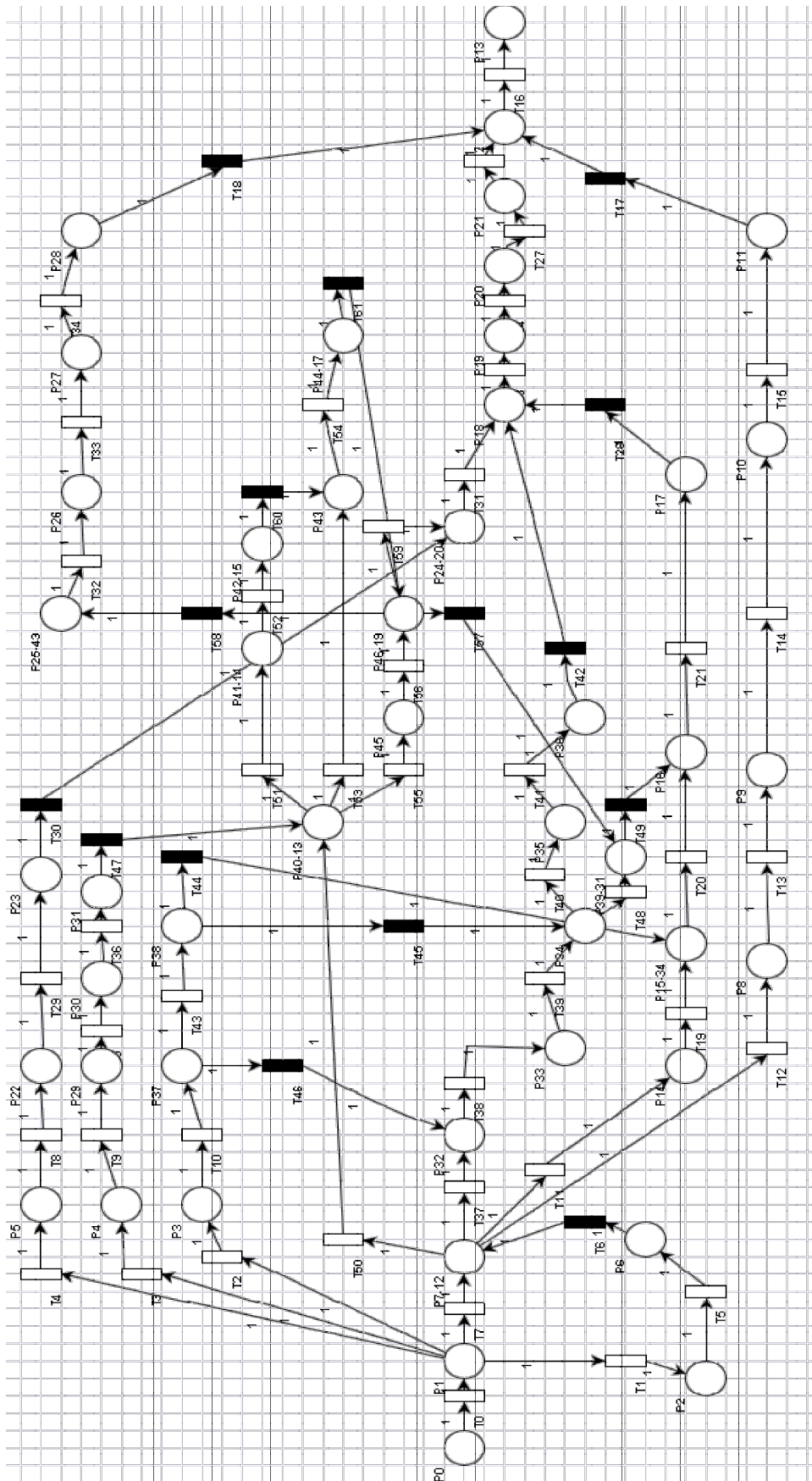


Рис. 2. Надання початкового директивного графа в середовищі для моделювання

Як бачимо, з табл. 1 завершити експеримент для 4 фішок не вдалося, відведений час для експерименту був вичерпаний.

Для розв'язку цієї проблеми можливо використання двох підходів: екстенсивний та інтенсивний. Екстенсивний підхід полягає у збільшенні використання ресурсів, в даному випадку збільшення обчислювальних можливостей процесора. Заміна на більш потужний процесор не доцільна. Як бачимо з рис. 3 час експерименту (t) зростає експоненційно в залежності від кількості ресурсів-фішок (N_{Φ}), заміна процесора тільки лише відстрочить цю проблему, але не вирішить її.

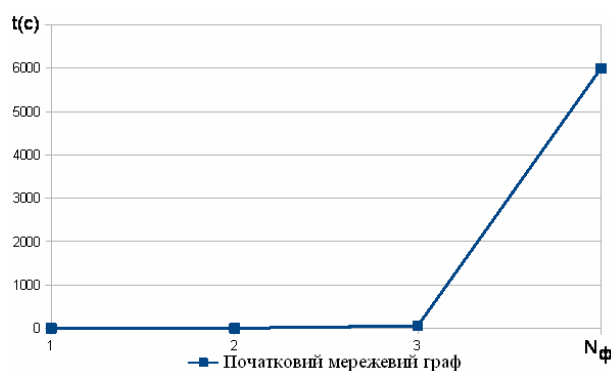


Рис. 3. Час, який витрачається на моделювання директивного мережевого графа (рис. 1)

Для вирішення цієї задачі пропонуємо застосувати інтенсивний підхід, а саме провести групування подій початкового директивного графа. Наприклад, процедуру створення двигуна можна згрупувати в одну позицію "двигун" (рис. 4).

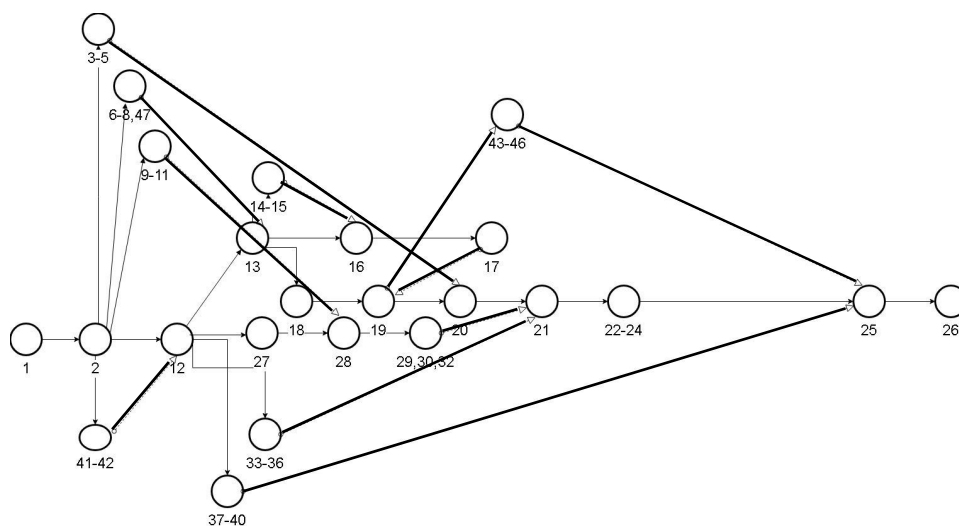


Рис. 6. Модифікований директивний мережний граф після групування певних операцій бізнес-процесу

Двигун

2-3 Зіставлення ТЗ на двигуни

3-4 Затвердження ТЗ на двигуни

4-5 Створення і поставка двигунів



Рис. 4. Двигун на початковому графі

Групувати будемо лише послідовні операції, які мають одну вхідну і вихідну позицію. Отримаємо згрупований двигун, який представлено на рис 5.

Двигун



Рис. 5. Відображення двигуна на модифікованому графі

Після застосування цього підходу отримаємо граф, який зображено на рис. 6.

Результати експериментальних досліджень за допомогою середовища PIPE версії 4.3 для згрупованого графа бізнес-процесу надані в табл. 2.

Таблиця 2

Результати моделювання згрупованого графа

Номер експерименту	Кількість фішок	Час моделювання, с	Обмежений
1	1	0,5	ТАК
2	2	0,7	ТАК
3	3	3,3	ТАК
4	4	17,2	ТАК
5	5	64,4	ТАК

Групування повністю не вирішило пробле-

му, як бачимо на рис. 7, оскільки складність графа залишилася досить великою і його моделювання також потребує багато часу. Введемо поняття метаграфа і, окрім процедури групування, виконаємо ще декомпозицію графа на структурні елементи. По суті, метаграф об'єднує окремі структурні елементи, які утворилися внаслідок декомпозиції початкового графу.



Рис. 7. Час, який витрачається на моделювання згрупованого мережевого графа

Далі виконаємо моделювання метаграфу, в якому надані, як згруповані за наведеним вище принципом, так і окремо декомповані ділянки графа. Декомпозицію будемо проводити для тих ділянок, які мають в середині розгалуження, але всі при цьому розгалуження повинні починатися з однієї точки і також сходитися в одній точці.

Результати експериментальних досліджень за допомогою середовища PIPE версії 4.3 для згрупованого та декомпованого графу бізнес-процесу надані в табл. 3 та на рис. 8.

Таблиця 3
Результати моделювання декомпованого мережевого графа

Номер експерименту	Кількість фішок	Час моделювання, с	Обмежений
1	1	0,3	ТАК
2	2	0,5	ТАК
3	3	2,5	ТАК
4	4	13,8	ТАК
5	5	54,7	ТАК

Також слід відмітити, що середовище моделювання PIPE версії 4.3 всі розрахунки виконує в один потік і не використовує всі можливості багатоядерного процесора, який дозволяє

виконувати обчислення в 4 потоки. Доцільно застосувати модифіковане середовище моделювання PIPE версії 5.0, яка підтримує багатопоточність.

Виконаємо експериментальні дослідження часу моделювання для початкового та декомпованого мережевого графів за допомогою даного середовища. Середовище моделювання перед початком дозволяє задати кількість потоків, при цьому за замовчуванням середовище пропонує максимально підтримувану процесором кількість потоків.

Результати досліджень надані в табл. 4 та рис. 9.

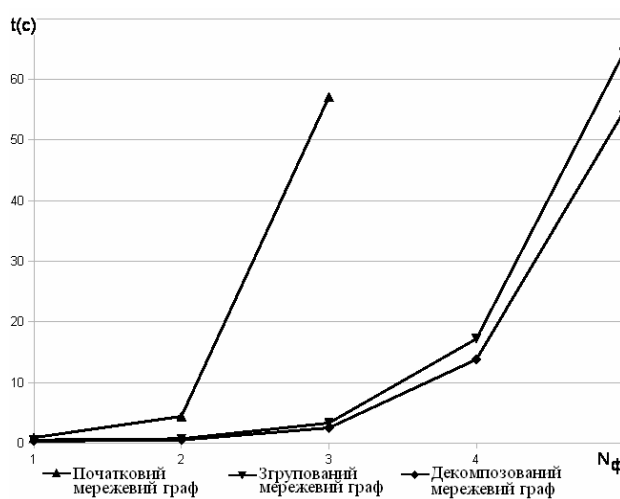


Рис. 8. Зведені порівняльні оцінювання часу, який витрачається для моделювання мережевих графів різного типу

Таблиця 4
Результати моделювання початкового графа в середовищі PIPE 5.0

Номер експерименту	Кількість фішок	Час моделювання, с	Обмежений
1	1	0,58	ТАК
2	2	0,65	ТАК
3	3	3,57	ТАК
4	4	32,29	ТАК
5	5	371,44	ТАК

Як видно з рис. 9, в порівнянні з рис. 8, значно знизився час, який було витрачено на процедуру моделювання за допомогою даного середовища PIPE 5.0.

Таблиця 5
Результати моделювання декомпованого графа в
середовищі PIPE 5.0

Номер експерименту	Кількість фішок	Час моделювання, с	Обмежений
1	1	0,08	ТАК
2	2	0,40	ТАК
3	3	0,54	ТАК
4	4	0,74	ТАК
5	5	9,55	ТАК

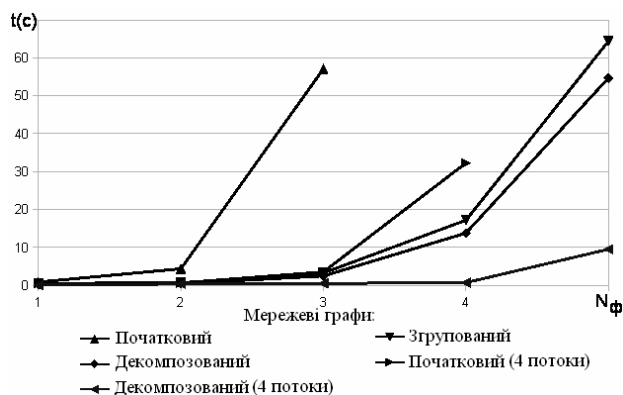


Рис. 9. Зведені порівняльні оцінювання часу, який витрачається для моделювання мережних графів різного типу (для середовища PIPE 5.0)

Висновки

Виконання моделювання бізнес-процесів перед їх безпосередньою реалізацією є важливою умовою ефективного управління складними підприємствами і організаціями. При цьому при моделюванні складних процесів виникає проблема відсутності достатніх ресурсів комп'ютерних систем і сама процедура моделювання стає практично неможливою.

В роботі запропоновані механізми декомпозиції складних бізнес-процесів, які дозволяють виконати моделювання великого початкового графу бізнес-процесу за декілька етапів: спочатку формується та моделюється метаграф, а на другому етапі в паралельному режимі виконується моделювання окремих декомпованих частин графа.

Експериментальні дослідження підтвердили, що запропоновані підходи дозволяють значно зменшити час, який витрачається на процедуру моделювання, зокрема за допомогою середовища моделювання з підтримкою режиму багатопоточності, що суттєво розширює можливості моделювання бізнес-процесів з великою кількістю ресурсів (фішок).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ляндау Ю.В., Стасевич Д.И. Теория процессного управления: монография. — М.: ИНФРА, 2015. — 118 с.
2. Андерсен Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / под. ред. Ю.П. Адлера. — 5 изд. М.: Стандарты и качество, 2008. — 272 с.
3. Биннер Х. Управление организациями и производством. От функционального менеджмента к процессному. — М.: Альпина Паблишерз, 2010. — 282 с.
4. Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г. Информационные технологии: Методы, процессы, системы. — М.: Радио и связь, 2008. — 456 с.
5. Черемных О.С., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технология. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 192 с.
6. Шеер А.В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы: Пер с англ. — М.: Весть-Метатехнология, 2008. — 182 с.
7. Шеер А.В. Моделирование бизнес-процессов: Пер с англ. — М: "Весть-Метатехнология", 2000. — 242 с.
8. Dijkman R.M., Dumas M., Ouyang C. Formal Semantics and Automated Analysis of BPMN Process Models. [Электронный ресурс] // Queensland University of Technology. — Режим доступа: <http://eprints.qut.edu.au/archive/00007115/>
9. List B., Korherr B. An evaluation of conceptual business process modelling languages. // Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied Computing (Dijon, France, April 23-27, 2006). — PP.1532-1539.
10. Koskela M., Haajanen J. Business Process Modeling and Execution Tools and technologies report for SOAMeS project. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2407.pdf>
11. W.M.P. van der Aalst, Stahl C. Modeling Business Processes A Petri Net Oriented Approach. — Cambridge MA: The Mit Press, 2011. — 400 p.
12. Маслובоев А.В., Шишаев М.Г. Функциональная структура и особенности реализации распределенной мультиагентной системы информационной поддержки инноваций // Информационные ресурсы России. — 2008. — № 5(105). — С.23-27.
13. Абрамова И.Г. Управление проектом на основе сетевых моделей // Самар. гос. аэрокосм. ун-т. — Самара, 2007. — 58 с.
14. Platform Independent Petri net Editor 2. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://pipe2.sourceforge.net/>

Надійшла до редакції 22.05.2018

МЕХАНИЗМЫ ГРУППИРОВАНИЯ И ДЕКОМПОЗИЦИИ СЕТЕВЫХ ГРАФОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

Мухин В.Е., Побережниченко В.Ю.

Эффективное управление организационными и технологическими процессами предприятий и организаций требует выполнения предварительного моделирования внутренних бизнес-процессов для определения особенностей бизнес-процессов на всем протяжении жизненного цикла продукции или услуг. Данные процессы являются одним из наиболее сложных объектов описания и моделирования. В работе рассмотрен проект разработки воздушного судна и выполнено моделирование бизнес-процесса его построения. При проведении экспериментальных исследований с помощью среды PIPE оказалось, что при даже незначительном числе ресурсов проведение экспериментальных исследований с использованием классических средств вычислительной техники невозможно. Компьютерная система не имеет достаточных ресурсов памяти и процессора для выполнения данной задачи, ввиду относительно большого количества вершин в графе бизнес процесса. Для решения этой задачи предложено применить интенсивный подход, а именно провести группировку событий начального директивного графа. Предложены и обоснованы подходы и методы моделирования сложных графов, механизмы группировки и декомпозиции сетевых графов для подсистем управления бизнес-процессами, которые позволяют существенно расширить возможности моделирования бизнес-процессов с большим количеством ресурсов. Введено понятие метаграфа, кроме того, помимо процедуры группировки, также проводится декомпозиция графа бизнес процесса на структурные элементы. Фактически метаграф объединяет отдельные структурные элементы, которые образовались в результате декомпозиции начального графа. Выполнено моделирование метаграфа, в котором представлены, как сгруппированные по приведенному выше принципу, так и отдельные декомпозированные участки графа. Декомпозиция проводилась для тех участков, которые имеют в середине разветвления, но при этом все разветвления должны начинаться с одной точки и также сходиться в одной точке. Экспериментальные исследования подтвердили, что предложенные подходы позволяют значительно уменьшить время, затрачиваемое на процедуру моделирования, в частности с помощью среды моделирования с поддержкой режима многопоточности, что существенно расширяет возможности моделирования бизнес-процессов с большим количеством ресурсов.

Ключевые слова: бизнес-процессы, системы управления, метаграф, сети Петри, декомпозиция.

MECHANISMS OF GROUPING AND DECOMPOSITION OF NETWORK GRAPHICS FOR SUPPORT OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT SUBSTANCES

Mukhin V.Ye., Poberezhnichenko V.Yu.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Effective management of organizational and technological processes of enterprises and organizations requires the pre-modeling of internal business processes to determine the peculiarities of business processes throughout the life cycle of products or services. These processes are one of the most complex objects of description and modeling. In this paper, the design of the aircraft was considered and the business process of its construction was simulated. When conducting experimental research with the help of the PIPE environment it turned out that even with insignificant number of resources, conducting experimental studies on the use of classical means of computing technology is impossible. The computer system does not have sufficient memory and processor resources to perform this task, given the relatively high number of vertices in the business process column. To solve this problem, it is proposed to apply an intensive approach, namely to group the events of the initial policy graph. Proposed and substantiated approaches and methods of modeling complex graphs, mechanisms of grouping and decomposition of network graphs for business process control subsystems, which allow to significantly expand the possibilities of modeling business processes with a large amount of resources. The concept of a meta-graph is introduced, and also, besides the grouping procedure, the decomposition of the graph of the business process into structural elements is performed. In fact, meta-graph combines separate structural elements which are formed as a result of the decomposition of the initial graph. The meta-graph modeling is performed, in which both sections of the graph grouped according to the above principle, and separate decomposable sections are represented. Decomposition was carried out for those areas that have branching in the middle, but at the same time branching must begin from one point and also converge at one point. Experimental studies have confirmed that the proposed approaches can significantly reduce the time spent on the simulation process, in particular through the simulation environment supporting the multithreading mode, which significantly expands the ability to simulate business processes with a large amount of resources.

Keywords: business processes, control systems, meta-graph, petri network, decomposition.

REFERENCES

1. Liandau Yu.V., Stasevich D.I. *Teoria processnogo upravleniya: monografiya* [Process Management Theory: Monograph]. Moskva: INFRA, 2015, 118 p. (in Russian).
2. Andersen B. *Bisnes-processy. Instrumenty sovershenstvovaniya* [Business processes. Improvmenting tools]. Ed. Yu.P. Adlera. 5th ed. Moskva: Standarty i kachestvo, 2008, 272 p. (in Russian).
3. Binner X. *Upravlenie organizacii i proizvodstvom. Ot funkcionalnogo menegmenta k processnomu* [Management of organizations and industry. From the functional management to the process management]. Moskva: Alpina Publisher, 2010, 282 p. (in Russian).
4. Borodakiy Yu.V. *Informacionnye tekhnologii: Metody, processy, sistemy* [Information technology: Methods, processes, systems]. Moskva: Radio i sviaz, 2008, 456 p. (in Russian).
5. Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. *Modelirovanie i analiz sistem. IDEF-tekhnologia* [Simulation and analysis of systems. IDEF technology]. Moskva: Financy i statistika, 2006, 192 p. (in Russian).
6. Sheer A.V. *Bisnes-processy. Osnovnye poniatia. Teoria. Metody* [Business processes. The basic concepts. Theory. Methods]. Moskva: "Vest-Metatekhnologia", 2008, 182 p. (in Russian).
7. Sheer A.V. *Modelirovanie bisnes-processov* [Simulation of business processes]. Moskva: "Vest-Metatekhnologia", 2000, 242 p. (in Russian).
8. Dijkman R.M., Dumas M., Ouyang C. *Formal Semantics and Automated Analysis of BPMN Process Models*. Queensland University of Technology. Retrieved from <http://eprints.qut.edu.au/archive/00007115/>
9. List B., Korherr B. *An evaluation of conceptual business process modelling languages*. Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied Computing. pp.1532-1539.
10. Koskela M., Haajanen J. *Business Process Modeling and Execution Tools and technologies report for SOAMeS project*. Retrieved from <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2407.pdf>
11. W.M.P. van der Aalst, Stahl C. *Modeling Business Processes A Petri Net Oriented Approach*. Cambridge MA: The MIT Press, 2011, 400 p.
12. Masloboyev A.V., Shyshev M.G. *Funkcionalnaya struktura i osobennosti realizacii raspredelennoy multiagentnoy sistemy informacionnoy podderzhki innovacii* [Functional structure and the implementation features of a distributed multi-agent system for the innovation information support] // Informacionnye resursy Rossii. 2008. № 5(105), pp.23-27 (in Russian).
13. Abramova I.G. *Upravlenie proektom na osnove setevykh modeley* [Project management based on network models]. Samara: Samarsky gos. aerocomich. un-t., 2007, 58 p. (in Russian).
14. *Platform Independent Petri net Editor 2*. Internet resource link: Retrieved from <http://pipe2.sourceforge.net/>

УДК 629.18

*Назаренко О.М.^а, Назаренко І.А.^а, Бахтін В.І.^а, Кушнарєнко О.П.^б***ОПЕРАТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-ХІМІЧНОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**^а Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя, Україна^б ПАТ «Запоріжсталь», м. Запоріжжя, Україна

Виконано дослідження водно-хімічного режиму підприємства з метою пошуку оптимальних технологічних параметрів водних потоків. Задачу енергозбереження виконано за допомогою математичного моделювання індикаторних параметрів. Розроблена програма «Аква-Дніпро», що дозволяє виконати моделювання технологічних параметрів системи водопостачання. Врахування хімічних показників якості води з особливостями технологічного режиму, дає змогу прогнозувати різні типи суміші водних потоків для обчислення коефіцієнта водообороту. Послідовне використання умовно чистих потоків дозволяє використання вторинних вод для виробництва суміжної продукції та підвищення екологічності підприємства. В той же час криза кліматичних умов вносить суб'єктивні параметри активного експерименту. Підвищена температура навколишнього середовища додає ризик опустелювання територій та зневоднення водоймищ. Ризик зменшення обсягів водоспоживання та підвищення тарифів на якісний ресурс створює непродуктивне стимулювання для виробників. Для пошуку оптимальних умов технологічних режимів водопостачання запропоновано віялове моделювання водно-хімічних режимів. Поступове варіювання основним і другорядним фактором створює комплексну картину впливу клімату на продуктивність системи водопостачання. Технічні питання регулювання вирішуються енергоменеджерами, а стратегічне планування ведеться відділом головного енергетика. Головна задача – уніфікація датчиків дистанційного контролю технологічних параметрів і систематизація даних за індикаторними значеннями для поточного моніторингу процесу. Впровадження такого моніторингу надасть як можливість контролювання якості вхідного ресурсу, так і можливість діалогу з обласними регуляторами щодо джерел витоків забруднювачів в басейні річки Дніпро. Потенційний ресурс такого впровадження може обчислюватися економічними показниками (понад 100000 грн/рік) та соціальними перевагами (диверсифікація асортименту товарної продукції, створення робочих місць, зниження собівартості продукції). Більш прогресивною тенденцією може стати вироблення типових датчиків якості води розведення агроландшафту на підприємстві, як зону відпочинку для співробітників.

Ключові слова: режим, моделювання, температура повітря, жорсткість води, активний експеримент, оптимум, безреагентне кондиціювання, коефіцієнт випаровування, товщина відкладень, продування.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-54-59**Постановка проблеми**

Технологічний режим водопостачання передбачає кондиціювання свіжої технічної води до технологічних індикаторних показників для забезпечення мінімальних енергетичних витрат [1]. У випадку порушення вхідних якісних

показників технічної води можливі додаткові витрати на доведення якості ресурсу до технологічних параметрів [2]. Ця задача більш стоїть енергоменеджерів, але у випадку додаткових накладних витрат, задача набуває стратегічного значення [3,4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження Lawrence D., Пантелія Г.С. та статей Дроздової Н.Н. [2], Аніщенко В.Я., Стольберга Ф.В. свідчать про актуальність даного напрямку вимірювань і робіт з впровадження моніторингу для підвищення конкурентоздатності продукції.

Ці випадки можливо застерегти, шляхом впровадження поточного моніторингу якості свіжої води. Бажано інформувати обласних регуляторів про відхилення хімічних показників водоймища для корегування водного балансу.

Постановка завдання

Доцільно стимулювати власників промислових підприємств до екологізації виробництва шляхом зниження фіскального тиску (рис. 1) або впровадженням власних допоміжних підрозділів з підвищеними коефіцієнтами випаровування системи (рис. 2).

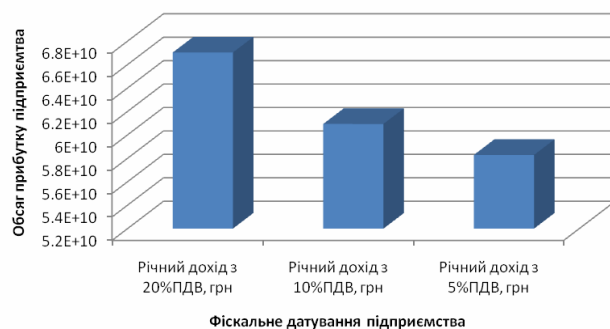


Рис. 1. Можливості фіскального датування екологічних підприємств

Виклад основного матеріалу дослідження

Зниження якості вхідного ресурсу на 10 відсотків (жорсткість, рН, лужність, завислі

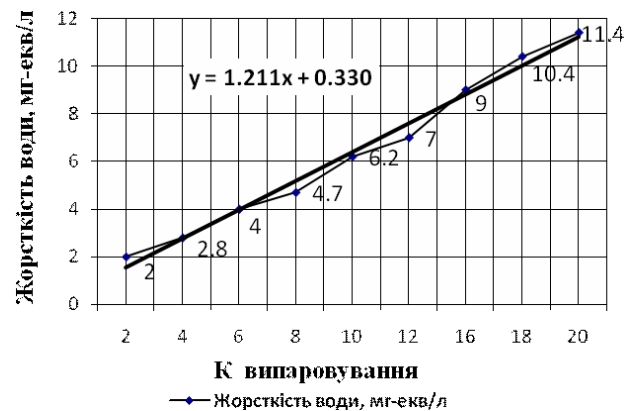


Рис. 2. Вплив жорсткості води на зміну коефіцієнта випаровування

речовини) призведе до підвищення собівартості кінцевого продукту на 22 відсотки [5].

Для поточного моделювання працездатності обладнання розроблена програма «Аква-Дніпро», яка на базі хімічних показників якості води дозволяє обчислювати водно-хімічний режим системи водопостачання.

Всі ці питання вирішують в плановому порядку при робочій схемі автоматизації процесу, але в літній період [6] (температура навколишнього повітря 52°C) вкрай небезпечно підвищується жорсткість з 3,7 до 5,1 мг-екв/дм³, вміст завислих речовин досягає 670–770 мг/дм³.

Все це впливає на водний режим та потребує додаткового підживлення системи.

Якщо мова йде про невелику ділянку ($q=25-75$ м³/год), то це локальне питання (табл. 1). Перевищення водоспоживання зверх ліміту [7] коштує виробництву п'ятикратним підвищенням тарифу.

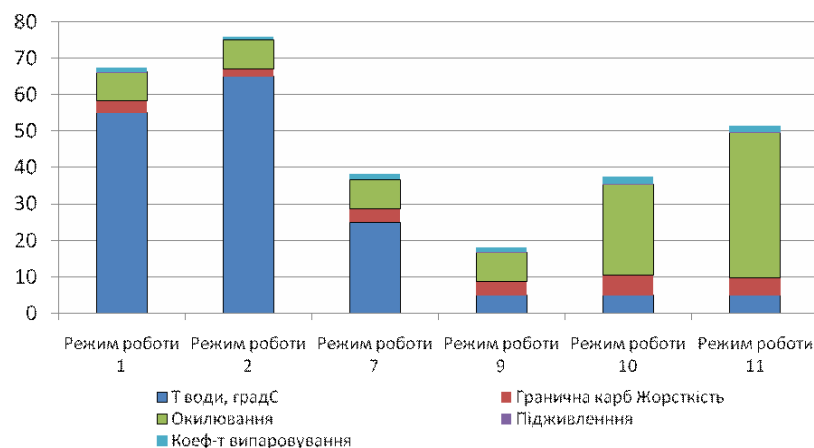


Рис. 3. Можливі технологічні режими системи

водопостачання

Таблиця 1

Водно-хімічні режими водопостачання

№ п/п	Температура води, °С	Гранична карбонатна жорсткість, мг-екв/дм ³	Окислювання, мг/л	Втрати води на продування систем, м ³ /год	Підживлення системи, м ³ /год	Коефіцієнт випаровування	Відкладення системи, мм
1	55	3,198	8	0,04	0,057	1,207	0,003
2	65	2,107	8	-0,055	-0,038	0,795	-0,002
3	75	1,591	8	-0,032	-0,015	0,6	-0,001
4	38	3,381	8	0,028	0,045	1,276	0,003
5	35	3,528	8	0,023	0,039	1,331	0,002
6	31	3,736	8	0,017	0,034	1,41	0,002
7	25	3,748	8	0,017	0,033	1,414	0,002
8	15	3,748	8	0,017	0,033	1,414	0,002
9	5	3,748	8	0,017	0,033	1,414	0,002
10	5	5,483	25	0,02	0,019	2,069	0,001
11	5	4,644	40	0,06	0,023	1,752	0,001
12	5	9,862	55	-0,003	0,013	3,722	0,001
13	5	26,704	200	-0,006	0,011	10,077	0,001
14	5	10,331	60	-0,004	0,013	3,898	0,001
15	31	10,324	60	-0,004	0,013	3,896	0,001
16	65	9,108	60	-0,003	0,014	3,437	0,001

Таблиця 2

Фактори та інтервали варіювання

	Нижній рівень (-1)	Загальний рівень (0)	Верхній рівень (+1)	Інтервал варіювання	Найменування фактора
x ₁ :	0,2	4,2	8,2	4,0	Жорсткість води, мг-екв/л
x ₂ :	0,2	5,2	10,2	5,0	Коефіцієнт випаровування
x ₃ :	650	4700	8750	4050	Тривалість експерименту, год

У випадку великого промислового підприємства ($q=1500-15000$ м³/год) доцільно вести мову про гуртову закупку енергоносіїв [8] або створення технопарку для утилізації власних відходів (рис. 3).

При необхідності охолодження металургійного обладнання, важливо знати діаметр трубопроводу та питоме теплове навантаження. Програма розраховує в залежності від хімічних індикаторів необхідні швидкості потоку для уникнення засорів і мінімально необхідну помісячну та річну витрати води. Корисно моделювати вихідні данні з технічної води, умовно чистим стокам та умовно брудним стокам для можливості підвищення водообороту підприємства.

У виробничій практиці доречно обрахувати гранично допустимі скиди стічних вод з нормативними та понад нормативними концентраціями [9] забруднювачів. В цей же час, екологи та обласні регулятори розуміють цінність та

вартість прісної води, яка здорожчала протягом декількох років на 40 відсотків. Це теж другорядний фактор впливу на продуктивність процесу, який теж має негативні наслідки.

У цьому багатофакторному просторі дуже цікаво виглядає план 3 порядку, який може математично описати тенденцію (табл. 2, рис. 4).

Рівняння математичної моделі продуктивного навантаження системи водопостачання:

$$y=125,914-2,973x_1-9,424x_2-16,924x_3-6,409x_1^2-28,439x_2^2-2,892x_3^2-2,975x_1x_2+12,066x_1x_3+18,598x_2x_3.$$

У практиці водопідготовки існує безреагентне кондиціонування. Застосовується на невеликих обсягах водоспоживання підприємств (рис. 5). Спосіб досить цікавий при добре організованому процесі автоматизації водопідготовки [10]. Тобто на кожній ділянці транспортування енергоносія має бути застосовано датчики

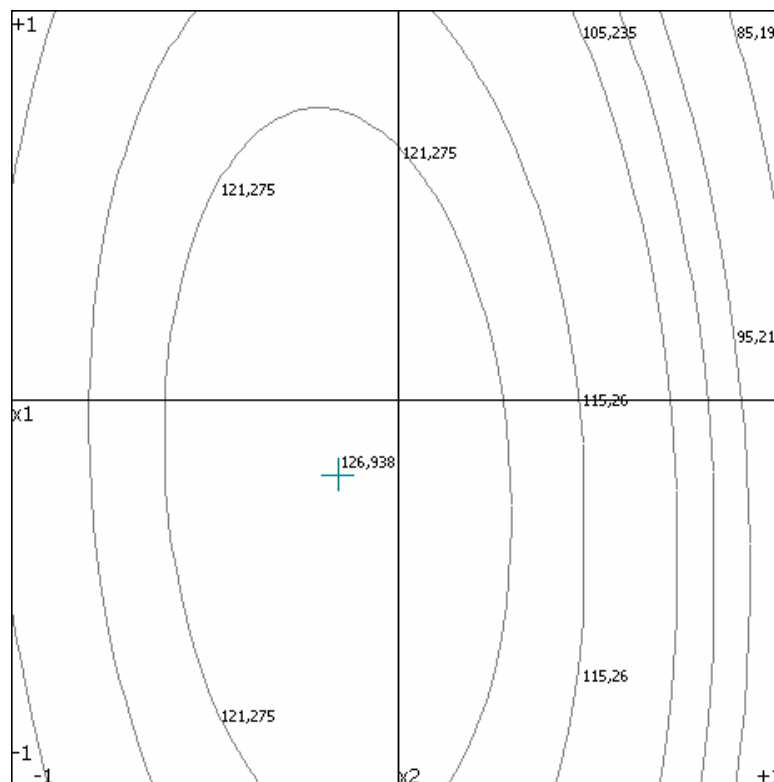


Рис. 4. Графічна інтерпретація параметру оптимізації – продуктивне навантаження

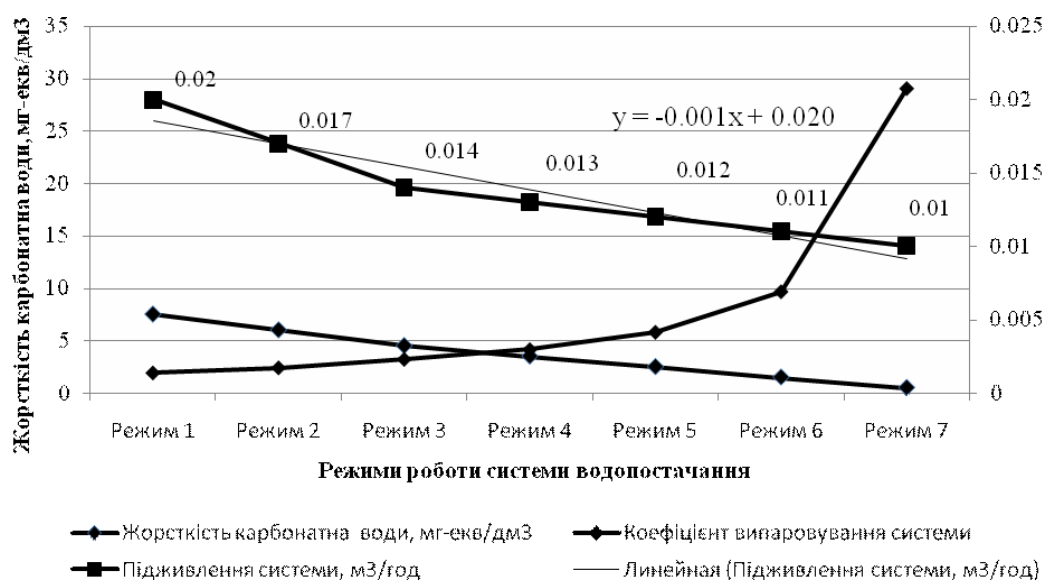


Рис. 5. Можливості режимів системи водопостачання

жорсткості, лужності, завислих речовин, рН. Дуже прогресивно, якщо до датчиків приєднано датчик GPS, який поточно передає чисельні значення якості води на сервер головного енергоменеджера. Це надає часову перевагу у випадку забору неякісної води з водоймища та мож-

ливість ідентифікації залпових скидів у обласного регулятора. Це вкрай небезпечно, особливо при довгому термічному стані водоймища [10].

Практика роботи екологів надає поточні результати досліджень для мінімізації промислових викидів. Програма «Аква-Дніпро» надає

можливість моделювати оптимальний водно-хімічний режим при різному складі поверхневої води. В такому випадку дослідник в першу чергу моделює основні фактори впливу, другим кроком обчислюються різні показники водного режиму з подальшим отриманням чисельної моделі карбонатних відкладень в системі. Таким чином, дослідник отримує комплектну картину впливу на водне середовище через кліматичні та техногенні фактори.

Висновки

1. Заплановані нововведення дозволять зекономити до 100000 грн/рік на кожній ділянці водо підготовки.

2. Отримано математичну модель коефіцієнта випаровування системи, навіть при $K_u=2,25$ та підживленні $0,015 \text{ м}^3/\text{год}$ при суворому дотриманні інструкцій.

3. Дослідження використання відходів виробництва для створення технопарку дозволяє підвищити продуктивність системи водопостачання до 126,9 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jorgensen S.E. Handbook of Ecological Models Used in Ecosystem and Environmental Management. — Copenhagen: CRC Press, 2011. — 600 p.
2. Дроздова Г.Г. Методика определения эффективности затрат на охрану природы. — Киев: КГТУ, 2004. — 12 с.
3. Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. — Алматы: [б. и.], 2011. — 580 с.
4. Назаренко О.М. Ризик менеджмент водокористувачів річки Дніпро: монографія. — Запоріжжя: СТС Групп, 2018. — 203 с.
5. Шипулін В.Д. Основні принципи геоінформаційних систем. — Харків: ХНАГХ, 2010. — 337 с.
6. Товажнянський Л.Л., Готлинська А.П. Процеси і апарати хімічної технології: підручник в 2-х частинах. — Харків: НТУ ХПУ, 2005. — 532 с.
7. Hosocava T., Iwasaki M., Komatsubara H. Kurita Handbook of water treatment. — Tokyo: Water Industries LTD, 1999. — 499 p.
8. Анищенко Л.Я., Стольберг Ф.В., Сухоруков Г.А. Методика расчета водоохранных мероприятий при распределении стока // Вод. ресурсы. — 1982. — № 1. — С.94-101.
9. Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and application / Marker B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. (eds). Handbook. — Elsevier Science Ltd, 2003. — 1017 p.
10. Пат. UA №123556, МПК, F17D5/02/2006. 01. Система віддаленого моніторингу параметрів теплоносія у двотрубних теплових мережах / Назаренко О.М., Біченко К.О. (Україна). — № U201710667; Заявл. 02.11.2017; Опубл. 26.02.18, Бюл. №4.

Надійшла до редакції 05.09.2018

ОПЕРАТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Назаренко А.Н., Назаренко И.А., Бахтин В.И., Кушнаренко А.П.

Выполнены исследования водно-химического режима предприятия с целью поиска оптимальных технологических параметров водных потоков. Задачу энергосбережения выполнено с помощью математического моделирования индикаторных параметров. Разработанная программа «Аква-Днепр» позволяет выполнить моделирование технологических параметров системы водоснабжения. Учет химических показателей качества воды, особенностей технологического режима позволяет прогнозировать разные типы водных потоков для учета компонентов смеси. Последовательное использование условно чистых потоков позволяет использование вторичных потоков для производства смежной продукции и повышения экологичности предприятия. В то же время кризис климатических условий вносит субъективные параметры активного эксперимента. Повышенная температура окружающей среды добавляет риск опустынивания территорий и обезвоживания водоемов. Риск уменьшения объемов водопотребления и повышение тарифов на качественный ресурс создает не продуктивное стимулирование для производителей. Для поиска оптимальных условий технологических режимов водоснабжения предложено всеорное моделирование водно-химических режимов. Постепенное варьирование основным и второстепенным факторами создает комплексную картину влияния климата на производительность системы водоснабжения. Технические вопросы регулирования решаются энергоменеджерами, а стратегическое планирование ведется отделом главного энергетика. Главная задача — унификация датчиков дистанционного контроля технологических параметров и систематизация данных по индикаторным значениям для текущего мониторинга процесса. Внедрение такого мониторинга позволит контролировать как качество входящего ресурса, так и возможность диалога с областными регуляторами относительно источников утечек загрязнителей в бассейн реки Днепр. Потенциальная выгода такого внедрения может исчисляться экономическими показателями (более 100000 грн/год) и социальными преимуществами (диверсификация ассортимента товарной продукции, создание рабочих мест, снижение себестоимости продукции). Более прогрессивной тенденцией может стать разработка типовых датчиков качества воды или разведения агроландшафта на предприятии, как зоны отдыха для сотрудников.

Ключевые слова: режим, моделирование, температура воздуха, жесткость воды, активный эксперимент, оптимум, безреагентное кондиционирование, коэффициент испарения, толщина отложений, продувка.

OPERATIVE MODELING OF THE WATER-CHEMICAL MODE OF A COMPANY IN THE CONDITIONS OF GLOBAL WARMING

Nazarenko O.M.^a, Nazarenko I.A.^a, Bakhtin V.I.^a, Kushnarenko O.P.^b

^a Zaporizhzhya State Engineering Academy, Zaporozhye, Ukraine

^b PJSC Zaporizhstal, Zaporozhye, Ukraine

The research of the water-chemical mode of an enterprise was carried out in order to find the optimal technological parameters of water flows. The task of energy saving is accomplished by using mathematical modeling of indicator parameters. The developed «Aqua-Dnepr» program allows to simulate the technological parameters of the water supply system. Consideration of chemical indicators of water quality and features of the technological regime allows one to predict different types of water flows to keep track of the components of the mixture. The sequential use of conventionally clean streams allows one to use secondary streams for the production of related products and increasing the environmental friendliness of an enterprise. At the same time, the crisis of climatic conditions introduces the subjective parameters of the active experiment. The increased environmental temperature causes desertification and dewatering of the rivers. The risk of reducing water consumption and raising tariffs for a quality resource creates unproductive incentives for producers. In order to find optimal conditions for the technological regime of water supply, direct modelling of water-chemical modes is proposed. The gradual variation of the main and secondary factor creates a comprehensive picture of the impact of climate on the performance of the water supply system. The technical issues of regulation are solved by energy managers, and strategic planning is conducted by the chief power engineer department. The main task is unification of sensors for remote control of technological parameters and systematization of data on indicator values for the current process monitoring. Implementation of such monitoring will enable both control of the quality of the input resource and the possibility of dialogue with regional regulators regarding sources of pollutant leakages in the Dnipro river basin. The potential gain of such implementation can be calculated as economic indicators (over 100000 UAH/year) and social benefits (diversification of the range of commodity products, job creation, lower cost of production). A more progressive trend may be the development of typical water quality sensors or agro-landscape cultivation in the enterprise, as a recreation area for employees.

Keywords: mode, modeling, air temperature, water hardness, active experiment, optimum, non-reagent conditioning, evaporation rate, sediment thickness, purging.

REFERENCES

1. Jorgensen S.E. Handbook of Ecological Models Used in Ecosystem and Environmental Management. Copenhagen: CRC Press, 2011, 600 p.
2. Drozdova H.H. *Metodyka opredeleniya effektivnosti zatrat na okhranu pryrodi* [Methodology for determining the cost-effectiveness of conservation of nature]. Kyev: KHTU, 2004, 12 p. (in Russian).
3. Semenov O.E. *Vvedeniye v eksperimentalnuyu meteorologiyu i klimatologiyu peschany bury* [Introduction into experimental meteorology and climatology of sandstorms]. Almaty: [b. i.], 2011, 187 p. (in Russian).
4. Nazarenko O.M. *Ryzhik menedzhment vodokorystuvachiv richky Dnipro. Monohrafiya* [Risk management of water users of the Dnieper River.]. Zaporizhzhia: STS Hrapp, 2018, 203 p. (in Ukrainian).
5. Shypulin V.D. *Osnovni pryntsypy heoinformatsiynykh system* [Basic principles of neo-information systems]. Kharkiv: KhNAHKh, 2010, 337 p. (in Ukrainian).
6. Tovazhnyanskiy L.L., Gotlinskaya A.P. *Procesy y apparaty himichnoy technology (pidruchnik v 2-h chastinah)* [Processes and apparatus of chemical technology]. Harkiv: NTU HPY, 2005, 532 p. (in Ukrainian).
7. Hosocava T., Iwasaki M., Komatsubara H. Kurita Handbook of water treatment. Tokyo: Water Industries LTD, 1999, 499 p.
8. Anyshchenko L.Ia., Stolberh F.V., Sukhorukov H.A. *Metodyka rascheta vodookhrannykh meropriyaty pry raspredelenyy stoka* [Methodology for calculating water protection measures for the distribution of flow]. Moskva: Vod. Resursy, 1982, № 1, pp.94-101. (in Russian).
9. Markert B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. (eds). Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and application. Handbook. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2003, 1017 p.
10. Nazarenko O.M., Bichenko K.O. *Sistema viddaleno monitoringu parametriv teplonosija u dvotrubnih teplovih mrezhah* [System for remote monitoring of coolant parameters in two-pipe heat networks]. Patent UA №123556, MPK, F17D5/02/2006. 01 № U201710667, zajavl. 02.11.2017, opubl. 26.02.18, BJul.4 (in Ukrainian).

Олевский В.И.^а, Олевская Ю.Б.^б

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА

^а ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина^б НТУ «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина

Целью работы является разработка статистической модели в виде трендового процесса Орнштейна-Уленбека для описания электрофореза высокомолекулярных веществ. Способность электрофореза разделять заряженные биологические макромолекулы широко применяется в научных исследованиях, химическом производстве и медицине. Несмотря на применение для оценки коэффициентов электрофоретической подвижности молекулярно-кинетической теории в виде стохастического уравнения Ланжевена и выходящих из него соотношений Эйнштейна-Смолуховского, учитывающей броуновское движение частиц среды, эти модели остаются детерминистическими. Такие модели не позволяют достичь необходимой точности при описании электрофореза высокомолекулярных веществ, особенно при анализе их различий. Процесс Орнштейна-Уленбека является единственным нетривиальным стационарным гауссовым марковским процессом и имеет свойство возвращения к среднему. Это способствовало его использованию в финансовой инженерии. В настоящее время процесс Орнштейна-Уленбека изучен достаточно глубоко и представляют интерес его различные модификации и обобщения, в частности трендовый процесс Орнштейна-Уленбека. Трендовый процесс Орнштейна-Уленбека описывает стохастический процесс, который отклоняется от детерминированного тренда и возвращается к нему со скоростью, пропорциональной отклонению. Детерминированный тренд содержит, как правило, несколько параметров, которые необходимо оценивать по данным наблюдений. В известных работах по моделированию движения диэлектриков такую оценку проводят известными статистическими методами, например, моментов или максимума правдоподобия. В случае электрофореза предлагается в качестве детерминированного тренда принять линейный тренд с коэффициентом, пропорциональным электролитической подвижности вещества в заданной среде. Статистическая обработка экспериментальных данных дает возможность получить оценки параметров, что позволяет стохастически моделировать процесс электрофореза. Определена форма модели электрофореза, разработана методика расчета параметров полученной модели по данным эксперимента по разделению белков.

Ключевые слова: процесс Орнштейна-Уленбека, электрофорез, высокомолекулярные вещества, белки.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-60-64

Постановка проблемы и её связь с важными научными и практическими задачами

Электрофорез — это движение коллоидных частиц в электрическом поле. Это явление впервые описано Рейссом в 1809 году [1]. В 1930-х годах электрофорез был впервые применён в

биохимии Тизелиусом для разделения белков сыворотки крови. С тех пор электрофорез занимает важное место при исследовании высокомолекулярных веществ, важнейшими из которых являются белки и нуклеиновые кислоты. Метод позволяет разделять макромолекулы по

размерам и пространственной конфигурации, что делает его удобным для количественного анализа таких веществ. Способность электрофореза разделять заряженные биологические макромолекулы широко применяется не только в исследованиях, но и в биотехнологии, химическом производстве и в медицине.

Существующие методы математического описания электрофореза опираются на модели движения круглых тел в электростатическом поле с учетом сопротивления среды и электролитической проницаемости частицы [1]. Несмотря на применение для оценки коэффициентов электрофоретической подвижности молекулярно-кинетической теории, учитывающей броуновское движение частиц среды в виде стохастического уравнения Ланжевена и следующих из него соотношений Эйнштейна-Смолуховского, эти описания остаются детерминистическими. Такие описания не позволяют достичь необходимой точности при описании электрофореза некоторых высокомолекулярных веществ, особенно при распознавании их отличий друг от друга [2].

Вместе с тем, для описания систем, имеющих некоторый временной тренд и малую случайную составляющую, в последнее время успешно используются стохастические дифференциальные уравнения. Для описания таких процессов активно используется процесс Орнштейна-Уленбека (ОУ) [3–8]. Процесс ОУ обладает значительным потенциалом моделирования временных рядов наблюдений для широкого спектра областей таких как: техника, экономика и финансы. Многие исследователи на финансовых рынках широко использовали процесс ОУ для описания динамики переменных состояния, которые стабилизируются на своих равновесных уровнях по мере приближения времени к бесконечности. Так, например, О. Васичек [8] использовал процесс ОУ для описания стохастического движения краткосрочной процентной ставки. Использование трендового процесса ОУ дает возможность учесть стохастический характер явления и определить параметры тренда не теоретически, а статистическими методами на основании экспериментальных данных, что позволяет существенно улучшить оценки параметров модельного прогноза.

Анализ положивших начало решению проблемы публикаций, нерешённых частей проблемы

В 1903 году Смолуховский привел теоретическую формулу электрофореза для тонкого двойного электрического слоя, чем были заложены

теоретические основы расчета линейного коллоидного электрофореза. В 1905 году Эйнштейн и в 1906 году Смолуховский сформулировали законы, описывающие броуновское движение коллоидных частиц, и связали константу диффузии с электрофоретической подвижностью. В 1923 году Хюккель и Дебай создали теорию экранирования электростатических взаимодействий в растворах электролитов и ввели параметр длины экранирования (или длину Дебая). В терминах Дебая и Хюккеля теория Смолуховского описывает электрофорез в концентрированных растворах электролита, где параметр экранирования велик. В 1924 году Хюккель привел теоретическое решение для задачи об электрофорезе в разбавленном растворе электролита для малых чисел Дебая. С развитием численных методов в конце прошлого века задача была решена для произвольных наборов параметров. Аналитические методы не дают достаточной точности при численной обработке результатов экспериментов, но позволяет выбрать форму тренда стохастической зависимости.

Процесс Орнштейна-Уленбека впервые был представлен в качестве модели скоростей частиц в процессе соударения с окружающими их частицами. Процесс ОУ является единственным нетривиальным стационарным гауссовским марковским процессом [4,6,7] и обладает свойством возвращения к среднему. Эти свойства способствовали его использованию в финансовой инженерии. Так, например, в работе О. Васичека [8] представлена модель для оценки мгновенной процентной ставки, а в начале нынешнего века были описаны способы использования процесса ОУ в задачах ценообразования опционов, оптимизации портфеля и теории рисков [9,10]. В настоящее время процесс ОУ изучен достаточно глубоко и представляют интерес его различные модификации и обобщения, в частности трендовый процесс ОУ.

Формулирование целей статьи

Целями этой работы является:

- 1) определение формы модели электрофореза, основанной на использовании трендового процесса Орнштейна-Уленбека;
- 2) разработка методики расчета параметров полученной модели по данным эксперимента по разделению белков в агарозном геле.

Таким образом, задачей настоящей работы является применение статистической модели в виде трендового процесса Орнштейна-Уленбека для описания электрофореза высокомолекулярных веществ.

Изложение основного материала исследования

Процесс Орнштейна-Уленбека (ОУ) является непрерывным стохастическим процессом v_t , описываемым стохастическим дифференциальным уравнением (SDE) вида

$$dv_t = k(\theta - v_t)dt + \sigma dW_t, \quad (1)$$

где θ , $k > 0$ и $\sigma > 0$ – параметры, интерпретирующие равновесный уровень, скорость достижения уровня равновесия и дисперсию переменной состояния v_t соответственно. Стандартное броуновское движение W_t рассматривается в вероятностном пространстве $(\Omega; \mathcal{F}; P)$ с фильтрацией $(\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$.

В процессе ОУ (1) v_t стремится к постоянному долгосрочному среднему уровню θ при стремлении времени к бесконечности. Если же процесс зависит от времени, это уравнение можно обобщить на детерминированный тренд $\mu(t)$, введя непрерывный стохастический процесс p_t , описываемый SDE вида

$$d(p_t - \mu(t)) = k(\mu(t) - p_t)dt + \sigma dW_t. \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает процесс p_t , отклоняющийся от детерминированного тренда $\mu(t)$ и возвращающегося к нему со скоростью, пропорциональной отклонению. Процесс (2) называется трендовым процессом ОУ с детерминированным трендом $\mu(t)$.

Детерминированный тренд $\mu(t)$ содержит, как правило, несколько параметров, которые необходимо оценивать по данным наблюдений [3–7]. В известных работах по моделированию движения диэлектриков такую оценку проводят известными статистическими методами, например, моментов или максимума правдоподобия [6,7].

Процесс электрофореза при детерминистическом описании характеризуется постоянной скоростью движения частиц – так называемой электролитической подвижностью [1,2]. В случае электрофореза предлагается в качестве детерминированного тренда принять линейный тренд с коэффициентом, пропорциональным электролитической подвижности вещества в заданной среде α [1] вида $\mu(t) = k_1 \alpha t$. Тогда SDE (2) согласно стохастическим уравнениям Ито имеет решение вида

$$p_t = k_1 \alpha t + p_0 e^{-kt} + \sigma \int_0^t e^{k(t-u)} dW_u. \quad (3)$$

При произвольном p_0 асимптотическое распределение p_t является гауссовым со средним значением $k_1 \alpha t$ и дисперсией $\sigma_1^2 = \sigma^2 / 2k$.

Распределение плотности вероятности перехода для этого процесса в произвольный момент времени согласно уравнению Фоккера-Планка имеет вид

$$p(x, t | y, s) = \sqrt{\frac{\Phi}{\pi}} e^{-\Phi \psi(x, t | y, s)}, \quad (4)$$

$$\text{где } \Phi = \frac{e}{4\sigma_1^2},$$

$$\psi(x, t | y, s) = \left((k_1 \alpha t - x) + (k_1 \alpha s - y) e^{k(s-t)} \right)^2.$$

Статистическая обработка экспериментальных данных дает возможность получить оценки параметров, что позволяет стохастически моделировать процесс электрофореза. Данные электрофореза (рис. 1) согласно разработанной нами методики [2] могут быть представлены как выборка относительных частот контрастности для ячеек разбиения изображения полосы и приближают экспериментальную функцию распределения вероятности (рис. 2).

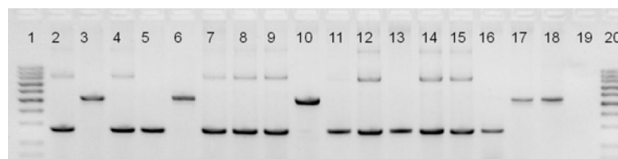


Рис. 1. Электрофореграмма ДНК кукурузы в полиакриламидном геле

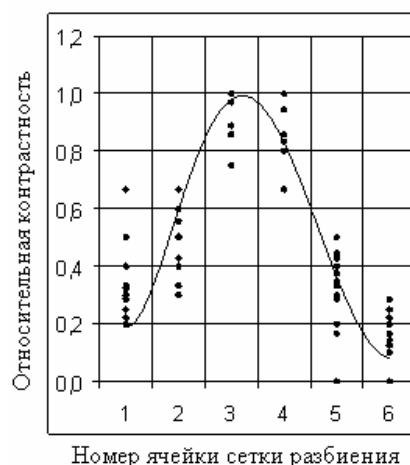


Рис. 2. Примерное распределение контрастности по продольным срезам полосы (сплошная линия – приближение кривой нормального распределения)

Для фиксированного времени t значения $k_1\alpha$ и σ_1^2 определяются как среднее и оценочная дисперсия выборки, что достаточно для анализа результатов электрофореза.

В случае необходимости рассмотрения траекторий движения частиц вещества может быть применена методика [7].

Выводы

Предложен способ построения статистической модели в виде трендового процесса Орнштейна-Уленбека для описания электрофореза высокомолекулярных веществ. Определена форма модели электрофореза. Разработана методика расчета параметров полученной модели по данным эксперимента по разделению белков.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Theory of DNA electrophoresis* / G.W. Slater, S. Guillouzi, M.G. Gauthier, J.F. Mercier, M. Kenward, L.C. McCormick, F. Tessier // *Electrophoresis*. – 2002. – Vol.23. – P.791-816.
2. *Olevskiy V.I., Smetanin V.T., Olevska Yu.B. Fuzzy method of recognition of high molecular substances in evidence-based biology* // *AIP Conference Proceedings*. – 2017. – Vol.1895. – PP.070003-1-070003-9. DOI:10.1063/1.5007392
3. *Lasky P., Ditlevsen S. A review of the methods for signal estimation in stochastic diffusion leaky integrate-and-fire neuronal models* // *Biol. Cybern.* – 2008. – Vol.99. – P.253-262.
4. *Lo A., Wang J. Implementing option pricing models when asset returns are predictable* // *J. Financ.* – 1995. – Vol.1. – P.87-129.
5. *Lucia J., Schwartz E. Electricity prices and power derivatives: evidence from the Nordic power exchange* // *Rev. Deriv. Res.* – 2002. – Vol.5. – P.5-50.
6. *Rujivan S. A closed-form formula for the conditional moments of the extended CIR process* // *J. Comput. Appl. Math.* – 2016. – Vol.297. – P.75-84, DOI: 10.1016/j.cam.2015.11.001.
7. *Deng Y., Barros A., Grall A. Residual useful life estimation based on a time-dependent Ornstein-Uhlenbeck process* // *Chem. Engineer. Trans.* – 2013. – Vol.33. – P.325-330.
8. *Vasicek O. An equilibrium characterization of the term structure* // *J. Financ. Econ.* – 1977. – Vol.5. – P.177-188.
9. *Wilhelm M., Winter C. Finite element valuation of swing options* // *J. Comput. Financ.* – 2008. – Vol.11. – P.107-132.
10. *Zhang B., Grzelak L., Oosterlee C. Efficient pricing of commodity options with early-exercise under the Ornstein-Uhlenbeck process* // *Appl. Numer. Math.* – 2012. – Vol.62. – P.91-111.

Поступила в редакцию 02.11.2018

СТОХАСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОФЕРЕЗУ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ РЕЧОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОЦЕСУ ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА

Олевський В.І., Олевська Ю.Б.

Метою роботи є розробка статистичної моделі у вигляді трендового процесу Орнштейна-Уленбека для опису електрофорезу высокомолекулярних речовин. Здатність електрофорезу розділяти заряджені біологічні макромолекули широко застосовується в наукових дослідженнях, хімічному виробництві та медицині. Незважаючи на застосування для оцінювання коефіцієнтів електрофоретичної рухливості молекулярно-кінетичної теорії у вигляді стохастичного рівняння Ланжевена і виходячих з нього співвідношень Ейнштейна-Смолуховського, що враховує броунівський рух частинок середовища, ці моделі залишаються детерміністичними. Такі моделі не дозволяють досягти необхідної точності при описі електрофорезу высокомолекулярних речовин, особливо при аналізі їх відмінностей. Процес Орнштейна-Уленбека є єдиним нетривіальним стаціонарним гаусовим марковським процесом і має властивість повернення до середнього. Це сприяло його використанню у фінансовій інженерії. В даний час процес Орнштейна-Уленбека вивчений досить глибоко і становлять інтерес його різні модифікації і узагальнення, зокрема трендовий процес Орнштейна-Уленбека. Трендовий процес Орнштейна-Уленбека описує стохастичний процес, який відхиляється від детермінованого тренду і повертається до нього зі швидкістю, пропорційною відхиленню. Детермінований тренд містить, як правило, кілька параметрів, які необхідно оцінювати за даними спостережень. У відомих роботах з моделювання руху діелектриків таку оцінку проводять відомими статистичними методами, наприклад, моментів або максимуму правдоподібності. У разі електрофорезу пропонується в якості детермінованого тренду прийняти лінійний тренд з коефіцієнтом, пропорційним електролітичній рухливості речовини в заданому середовищі. Статистична обробка експериментальних даних дає можливість отримати оцінки параметрів, що дозволяє стохастично моделювати процес електрофорезу. Визначено форму моделі електрофорезу, розроблена методика розрахунку параметрів отриманої моделі за даними експерименту з розділення білків.

Ключові слова: процес Орнштейна-Уленбека, електрофорез, высокомолекулярні речовини, білки.

STOCHASTIC MODELING OF HIGH-MOLECULAR SUBSTANCES ELECTROPHORESIS USING THE ORNSTEIN-UHLENBECK PROCESS

Olevsky V.I.^a, Olevskaya Yu.B.^b,

^a Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

^b Dnipro Polytechnic, Dnipro, Ukraine

The aim of the work is to develop a statistical model in the form of the Ornstein-Uhlenbeck trend process for describing the electrophoresis of high-molecular substances. The ability of electrophoresis to divide charged biological macromolecules is widely used in scientific research, chemical production and medicine. Despite the use of the molecular-kinetic theory for estimation of the coefficients of the electrophoretic mobility in the form of the stochastic Langevin equation and the Einstein-Smoluchowski relations emerging from it, which takes into account the Brownian motion of particles of the medium, these models remain deterministic. Such models do not allow one to achieve the required accuracy in the description of electrophoresis of high-molecular substances, especially when analyzing their differences. The Ornstein-Uhlenbeck process is the only non-trivial stationary Gaussian Markov process and has the property of returning to the average. This contributed to its use in financial engineering. At present, the Ornstein-Uhlenbeck process has been studied quite deeply and various modifications and generalizations are of interest, in particular the Ornstein-Uhlenbeck trend process. The Ornstein-Uhlenbeck trend process describes a stochastic process that deviates from the deterministic trend and returns to it with a speed proportional to the deviation. Deterministic trend, as a rule, contains several parameters that must be estimated from observational data. In well-known works on modeling the motion of dielectrics, such an estimate is carried out by well-known statistical methods, for example, by method of moments or maximum likelihood estimation. In the case of electrophoresis, we propose to adopt a linear trend with a coefficient proportional to the electrolytic mobility of the substance in a given environment as a deterministic trend. Statistical processing of experimental data makes it possible to obtain parameter estimates, which allows stochastically simulating the process of electrophoresis. The shape of the electrophoresis model has been determined, and methods have been developed for calculating the parameters of the obtained model according to the data of an experiment on the separation of proteins.

Keywords: Ornstein-Uhlenbeck process, electrophoresis, high-molecular substances, proteins.

REFERENCES

1. Slater G.W., Guillozzi S., Gauthier M.G., Mercier J.F., Kenward M., McCormick L.C., Tessier F. Theory of DNA electrophoresis. *Electrophoresis*, 2002, vol.23, pp.791-816.
2. Olevskiy V.I., Smetanin V.T., Olevska Yu.B. Fuzzy method of recognition of high molecular substances in evidence-based biology. *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol.1895, pp.070003-1–070003-9. DOI: 10.1063/1.5007392.
3. Lasky P., Ditlevsen S. A review of the methods for signal estimation in stochastic diffusion leaky integrate-and-fire neuronal models. *Biol. Cybern.*, 2008, vol.99, pp.253-262.
4. Lo A., Wang J. Implementing option pricing models when asset returns are predictable. *J. Financ.*, 1995, vol.1, pp.87-129.
5. Lucia J., Schwartz E. Electricity prices and power derivatives: evidence from the Nordic power exchange. *Rev. Deriv. Res.*, 2002, vol.5, pp.5-50.
6. Rujivan S. A closed-form formula for the conditional moments of the extended CIR process. *J. Comput. Appl. Math.*, 2016, vol.297, pp.75-84, DOI:10.1016/j.cam.2015.11.001.
7. Deng Y., Barros A., Grall A. Residual useful life estimation based on a time-dependent Ornstein-Uhlenbeck process. *Chem. Engineer. Trans.*, 2013, vol.33, pp.325-330.
8. Vasicek O. An equilibrium characterization of the term structure. *J. Financ. Econ.*, 1977, vol.5, pp.177-188.
9. Wilhelm M., Winter C. Finite element valuation of swing options. *J. Comput. Financ.*, 2008, vol.11, pp.107-132.
10. Zhang B., Grzelak L., Oosterlee C. Efficient pricing of commodity options with early-exercise under the Ornstein-Uhlenbeck process. *Appl. Numer. Math.*, 2012, vol.62, pp.91-111.

УДК 621.774.28

Рахманов С.Р.^а, Вышинский В.Т.^а, Пача С.В.^б

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СТАНА ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА

^а Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина^б ПГ «Технология», г. Запорожье, Украина

Наиболее узким местом агрегата для производства бесшовных горячекатаных труб является автоматический стан. Сложности анализа явлений, происходящих в очаге деформации автоматического стана, обусловлены тем, что на обрабатываемое изделие совместно с валками и оправкой воздействует стержневой механизм удержания оправки на оси прокатки. Это формируют специфические начальные условия не только протекания технологического процесса, но и обуславливают сложное поведение рабочей клетки. Наименее изученными среди процессов, сопровождающих процесс прокатки гильз на автоматическом стане, являются поведение комплекса, включающего станину рабочей клетки со всеми механизмами ее удержания. Исследования условий эксплуатации трубопрокатного агрегата (ТПА) с автоматическими станами показывает, что их отличительной особенностью от других станов технологического цикла прокатки бесшовных труб является наличие нестационарных динамических процессов. При этом нагрузки в периоды захвата гильзы, например на автоматическом стане ТПА 350, в 3...5 раза превосходят нагрузки при установившемся процессе прокатки. Математическая модель процесса взаимодействия прокатываемой заготовки с элементами рабочей клетки, рассматриваемая в известных работах, не позволяет полностью представить особенности функционирования рабочей клетки в процессе прокатки гильзы. Приведены результаты исследования уточненной динамической модели этого комплекса автоматического стана на трубопрокатном агрегате ТПА. Получены картины виброактивности элементов рабочей клетки и опорных узлов механизма удержания механической системы. На примере расчета динамики рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 установлены некоторые особенности функционирования механической системы с четырьмя степенями свободы. Выявлены параметры динамичности рабочей клетки автоматического стана и механизма ее удержания, влияющие на значение такого важного параметра – разностенность прокатываемых гильз. Это позволило сформулировать предложения по совершенствованию узлов системы удержания рабочей клетки автоматического стана ТПА 350.

Ключевые слова: агрегат для производства бесшовных горячекатаных труб, очаг деформации автоматического стана, станина рабочей клетки, механизмы удержания рабочей клетки, нестационарные динамические процессы, картины виброактивности, разностенность прокатываемых гильз.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-65-72

Введение

Условия эксплуатации отечественных трубопрокатных агрегатов (ТПА) влечет за собой ужесточение режимов функционирования основного и вспомогательного оборудования технологической линии. Автоматический стан, соглас-

но циклограмме работы ТПА формирующий начальные параметры изделия в технологическом процессе производства бесшовных горячекатаных труб, является наиболее узким местом. Прокатка гильзы на автоматическом стане ТПА 350 характеризуется тем, что на гильзу, вза-

и взаимодействующую с валками и оправкой, воздействует стержневой механизм ее удержания на оси прокатки. Следует отметить, что данные условия формируют специфические начальные условия технологического процесса, обуславливают сложное поведение рабочей клетки и в следствии этого нестационарные динамические процессы на самом автоматическом стане ТПА [2].

Анализ последних исследований и публикаций

Наименее изученными среди динамических процессов, сопровождающих процесс прокатки гильз на автоматическом стане, являются поведение станины рабочей клетки со всеми механизмами ее удержания. Особенности взаимодействия гильзы с рабочей клетью автоматического стана существенно влияют на характер функционирования данной механической системы. Опыт исследования условий эксплуатации ТПА с автоматическими станами показывает, что их отличительной особенностью от других станов технологического цикла прокатки труб является наличие нестационарных динамических процессов. При этом динамические нагрузки, например на автоматическом стане ТПА 350, в периоды захвата гильзы в 3...5 раза превосходят нагрузки при установившемся процессе прокатки. Большинство известных математических моделей процесса взаимодействия прокатываемой заготовки с рабочей клетью не позволяет полностью представить особенности функционирования рабочей клетки в процессе прокатки гильзы. Однако, анализ математической модели нестационарного взаимодействия прокатываемого металла с рабочей клетью стана, рассмотренной в работе [2], позволил получить возможность описать формирования нагрузок в периоды переходных процессов.

Среди совокупности нагрузок, действующ-

щих на рабочую клеть и элементы автоматического стана ТПА, наименее изученными являются значительные по величине и изменяющиеся во времени нестационарные динамические нагрузки. Многочисленные исследования условий эксплуатации автоматических станов ТПА показали, что при захвате гильз валками, рабочие клетки совершают неконтролируемые движения в пространстве, что оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние элементов клетей, формирует сложные картины процессов прокатки гильз, приводящие к заметным искажениям очагов деформации. Следовательно, для обеспечения устойчивой геометрии гильз, прокатываемых на автоматических станах ТПА, кроме всего, существенное практическое значение имеет решение задачи обеспечения стабилизации состояния рабочих клетей.

Цель работы

Определение реальных спектров и уровней динамических нагрузок позволило бы разработать рекомендации по совершенствованию рабочих клетей автоматических станов ТПА, расширить их технологические возможности, повысить долговечность и надежность функционирования.

Метод решения задачи

Данная работа выполнена на основе развития математической модели динамических процессов в механической системе автоматического стана ТПА, где сделана попытка по установлению параметров функционирования рабочей клетки с прокатываемой гильзой в постановке задач динамики. Предложенный подход более корректен и удобен при изучении сложных динамических явлений в элементах автоматического стана ТПА. Ниже в работе приведены

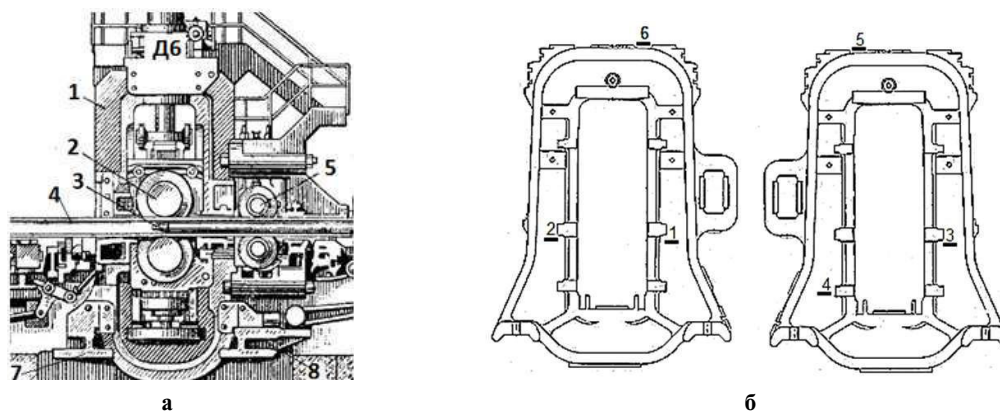


Рис. 1. Автоматический стан ТПА (а) и схема размещения датчиков на полустанинах рабочей клетки ТПА 350 (б):

1 – станина клетки стана; 2 – рабочие валки; 3 – оправка со стержнем; 4 – гильза (трубная заготовка); 5 – ролики обратной подачи; 7, 8 – узлы удержания рабочей клетки

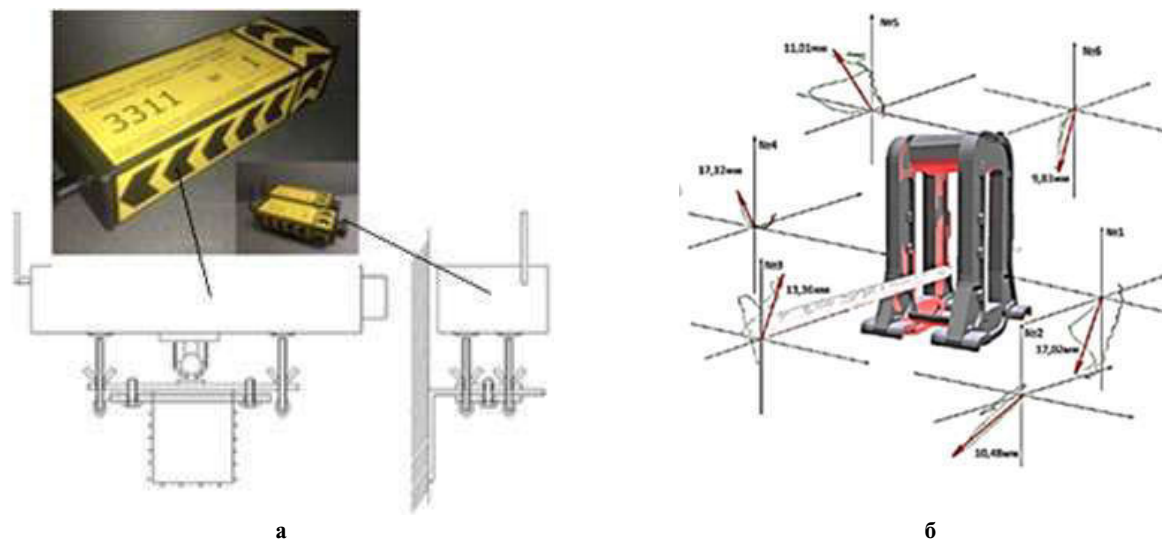


Рис. 2. Универсальные датчики пространственного ориентирования и полученные в результате обработки информации датчиков картины пространственных перемещений различных участков клетки во время прокатки гильз

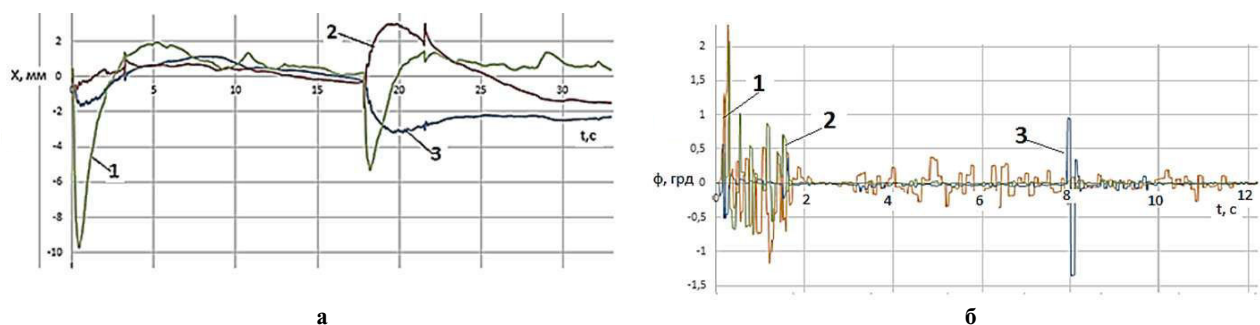


Рис. 3. Линейные (а) и угловые (б) смещения рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 при прокатке трубы 273×6,3 (показания датчика № 6): 1 – линейные и угловые смещения датчика относительно вертикали; 2 – линейные и угловые смещения датчика относительно оси прокатки; 3 – линейные и угловые смещения датчика относительно оси, параллельной начальному положению осей валков

результаты исследования динамики рабочей клетки автоматического стана ТПА 350, путем развития принятых расчетных схем и математической модели исходной механической системы.

Автоматический стан ТПА 350 и одна из схем размещения датчиков, информирующих о пространственных перемещениях различных участков рабочей клетки, представлена на рис. 1.

Фиксация линейных и угловых смещений участков рабочей клетки осуществлялась универсальными датчиками пространственного ориентирования, основным чувствительным элементом которых является динамический инклинометрический модуль DCA126-T, разработанный швейцарской компанией OEM и производимый компанией RION Tech. (ГОНКОНГ). На рис. 2 представлены универсальные датчики пространственного ориентирования и полученные в ре-

зультате обработки информации датчиков картины пространственных перемещений различных участков клетки во время прокатки гильз.

На рис. 3 представлены линейные и угловые смещения станины рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 при прокатке трубы 273,0×6,3 полученные по показаниям датчика Д6.

Интенсивность нестационарного воздействия со стороны очага деформации на рабочую клетку, изменение во времени инертности трубы и параметров жесткости крепления рабочей клетки к опорным плоскостям значительно усложняет описание динамических процессов на автоматическом стане ТПА. Отметим, что исследование развитой динамической модели «рабочая клетка–механизм удержания клетки» позволит проанализировать динамическое состояние, как элементов рабочей клетки, так и взаимосвя-

занных узлов механической системы в течение всего процесса прокатки гильзы. Актуальным становится установление взаимосвязи между динамическими процессами, например на автоматическом стане ТПА 350, и параметрами разностенности прокатываемых гильз. На основании полученного, следует разработать ряд мероприятий и предложений по комплексной модернизации рабочей клетки и оборудования выходной стороны, например автоматического стана ТПА 350. Для формирования научно-обоснованных предложений по совершенствованию конструкции рабочей клетки автоматического стана ТПА необходимо более глубоко изучить влияние различных параметров и особенностей формирования технологического процесса прокатки гильз на динамику всей механической системы стана и качество готовой продукции. Выбранное направление исследований отличается от известных подходом к анализу и синтезу взаимосвязанных динамических процессов с учетом податливости опорных узлов механизма удержания станины на опорных шинах и циклически изменяющихся технологических нагрузок, действующих со стороны очага деформации на элементы рабочей клетки.

Для установления взаимосвязи динамики рабочей клетки с условиями функционирования автоматического стана ТПА переходим к описанию математической модели динамических процессов. Математическую модель исходной механической системы рабочей клетки автоматического стана ТПА в наиболее общем виде представляем с помощью дифференциальных уравнений, описывающих поведение выбранной расчетной схемы (рис. 4).

Далее переходим к анализу выбранной динамической модели рабочей клетки автоматического стана ТПА с восьмью степенями свободы и решению многофакторной задачи.

Выбираем пространственную систему координат в центре масс рабочей клетки и преобразуем исходную сложную динамическую модель механической системы с использованием методик [2,3,4] в упрощенную механическую систему жестких тел определенным образом связанных между собой в опорных узлах упругими элементами. Пространственное положение данной механической системы в процессе колебаний характеризуется соответствующими координатами в выбранной системе отсчета. Исходя из выбранной расчетной схемы рабочей клетки стана (рис. 4) определяем кинетическую и потенциальную энергии механической системы

соответственно. С учетом определенных начальных и граничных условий поставленную задачу представляем в постановке традиционной задачи динамики механической системы.

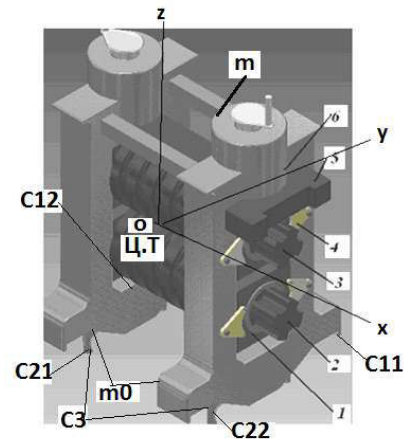


Рис. 4. Расчетная схема рабочей клетки автоматического стана ТПА

Считая, что лапы станины и тумбы (шины), удерживающие рабочую клетку на опорных механизмах, деформируемыми, для упрощенной механической системы с четырьмя степенями свободы соответственно кинетическую и потенциальную энергии системы находим в виде:

$$T = \frac{1}{2} m (\dot{z}_{11}^2 + i^2 \dot{\phi}_{16}^2) + 2m_0 (\dot{z}_{12}^2 + \dot{z}_{13}^2) + \frac{1}{2} m (\dot{z}_{21}^2 + i^2 \dot{\phi}_{26}^2) + 2m_0 (\dot{z}_{22}^2 + \dot{z}_{23}^2); \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Pi = & 2 \frac{1}{2} c_{11} (z_{11} + a\phi_{16})^2 + 2 \frac{1}{2} c_{12} (z_{11} - b\phi_{16})^2 + \\ & + 2 \frac{1}{2} c_3 (z_{12} + z_{13})^2 + 2 \frac{1}{2} c_{21} (z_{21} + c\phi_{26})^2 + \\ & + 2 \frac{1}{2} c_{22} (z_{21} - d\phi_{26})^2 + 2 \frac{1}{2} c_3 (z_{22} + z_{23})^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где m — масса рабочей клетки автоматического стана; m_0 — масса опорного узла рабочей клетки автоматического стана; c_{11} , c_{12} , c_{21} и c_{22} — приведенные жесткости соответственно передней и задней частей опорных узлов рабочей клетки стана; c_3 — приведенная жесткость тумб (шин) механизма удержания рабочей клетки; z_{11} , z_{12} — ди-

динамические перемещения центра масс рабочей клетки автоматического стана в вертикальной плоскости; z_{21} , z_{22} — динамические перемещения передней части рабочей клетки автоматического стана в вертикальной плоскости; z_{13} , z_{23} — динамические перемещения опорных узлов (шин или тумб) рабочей клетки автоматического стана в вертикальной плоскости; φ_{16} , φ_{26} — угловые перемещения станины рабочей клетки стана вокруг осей x и y ; a , b , c , d — параметры расположения центра масс рабочей клетки в выбранной системе отчета; e — расстояние от оси x до точки приложения технологической нагрузки $P_{(t)}$ со стороны прокатываемой гильзы. Из [3] известно, что технологическая нагрузка, действующая со стороны очага деформации на валки рабочей клетки, носит гармонический характер

$$P(t) = P_0 + P_1 \sin(\omega t).$$

Здесь P_0 — статическая составляющая силы прокатки трубы, а P_1 — амплитудное значение данной силы. Отметим, что гармоническая составляющая силы прокатки гильзы имеет соответствующую частоту ω , в силу винтовой разностенности гильзы после прошивного стана.

Используя уравнения Лагранжа, составляем дифференциальные уравнения движения рабочей клетки автоматического стана ТПА. В очередном приближении для принятой динамической модели механической системы с четырьмя степенями свободы в постановке задачи Коши запишем

$$m \frac{d^2 z_{11}(t)}{dt^2} + 2c_{11}(z_{11}(t) - z_{12}(t) + a\varphi_{16}(t)) + 2c_{12}(z_{11}(t) - z_{12}(t) - b\varphi_{16}(t)) = 0;$$

$$z_{11}(0) = 0,01; \quad \frac{dz_{11}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{12}(t)}{dt^2} + 2c_{11}(z_{11}(t) - z_{12}(t) + a\varphi_{16}(t)) + 2c_{31}z_{13}(t) = 0;$$

$$z_{12}(0) = 0; \quad \frac{dz_{12}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{13}(t)}{dt^2} + 2c_{12}(z_{11}(t) - z_{12}(t) - b\varphi_{16}(t)) + 2c_{31}z_{13}(t) = 0;$$

$$z_{13}(0) = 0; \quad \frac{dz_{13}(0)}{dt} = 0;$$

$$mi_1^2 \frac{d^2 \varphi_{16}(t)}{dt^2} + 2c_{11}a(z_{11}(t) - z_{12}(t) + a\varphi_{16}(t)) - 2c_{12}b(z_{11}(t) - z_{12}(t) - b\varphi_{16}(t)) = (P_0 + P_1 \sin(\omega t))e;$$

$$\varphi_{16}(0) = 0,015; \quad \frac{d\varphi_{16}(0)}{dt} = 0.$$

$$m \frac{d^2 z_{21}(t)}{dt^2} + 2c_{21}(z_{21}(t) - z_{22}(t) + c\varphi_{26}(t)) + 2c_{22}(z_{21}(t) - z_{22}(t) - d\varphi_{26}(t)) = 0;$$

$$z_{21}(0) = 0,01; \quad \frac{dz_{21}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{22}(t)}{dt^2} + 2c_{21}(z_{21}(t) - z_{22}(t) + c\varphi_{26}(t)) + 2c_{32}z_{23}(t) = 0;$$

$$z_{22}(0) = 0; \quad \frac{dz_{22}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{23}(t)}{dt^2} + 2c_{22}(z_{21}(t) - z_{22}(t) - d\varphi_{26}(t)) + 2c_{32}z_{23}(t) = 0;$$

$$z_{23}(0) = 0; \quad \frac{dz_{23}(0)}{dt} = 0;$$

$$mi_2^2 \frac{d^2 \varphi_{26}(t)}{dt^2} + 2c_{21}c(z_{21}(t) - z_{22}(t) + c\varphi_{26}(t)) - 2c_{22}d(z_{21}(t) - z_{22}(t) - d\varphi_{26}(t)) = 0;$$

$$\varphi_{26}(0) = 0,015; \quad \frac{d\varphi_{26}(0)}{dt} = 0, \quad (3)$$

где i_1 — радиус инерции рабочей клетки относительно оси x ; i_2 — радиус инерции рабочей клетки относительно оси y .

Далее решение системы дифференциальных уравнений (3) реализуем численно, методом Рунге-Кутты в среде программного продукта Matcad, для наиболее распространенной первой формы колебаний механической системы «рабочая клетка — механизм удержания клетки».

Динамические особенности функционирования рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 с учетом принципа суперпозиции линейных и угловых перемещений механической системы

$$z_1(t) = z_{11}(t) + z_{21}(t); \quad z_2(t) = z_{21}(t) + z_{22}(t); \\ z_3(t) = z_{31}(t) + z_{32}(t) \text{ и } \varphi_6(t) = \varphi_{16}(t) + \varphi_{26}(t)$$

представлены на рис. 5. Сопоставление результатов численного расчета (рис. 5) и эксперимен-

тальных исследований (рис. 3) показывает, что дифференциальные уравнения (3) с достаточно высокой степенью точности описывают вынужденные колебания рабочей клетки на опорных механизмах автоматического стана ТПА 350. Амплитудно-частотные характеристики динамических процессов при колебаниях рабочей клетки за время реализации всего технологического процесса прокатки гильзы на автоматическом стане ТПА 350 превышают допустимый уровень виброактивности механической системы.

Известно, что в ходе реализации технологического процесса высокая динамичность системы «рабочая клетка автоматического стана ТПА — механизм её удержания» обуславливает формирование повышенной разностенности гильзы [5]. На последующих участках воздействия на обрабатываемое изделие процесс носит сложный и трудно устранимый характер. Очевидно, что учет динамики рабочей клетки и интенсивности воздействия со стороны очага деформации стана являются определяющими параметрами в рамках рассматриваемой модели. Следует отметить, что возможность математического моделирования различных режимов прокатки

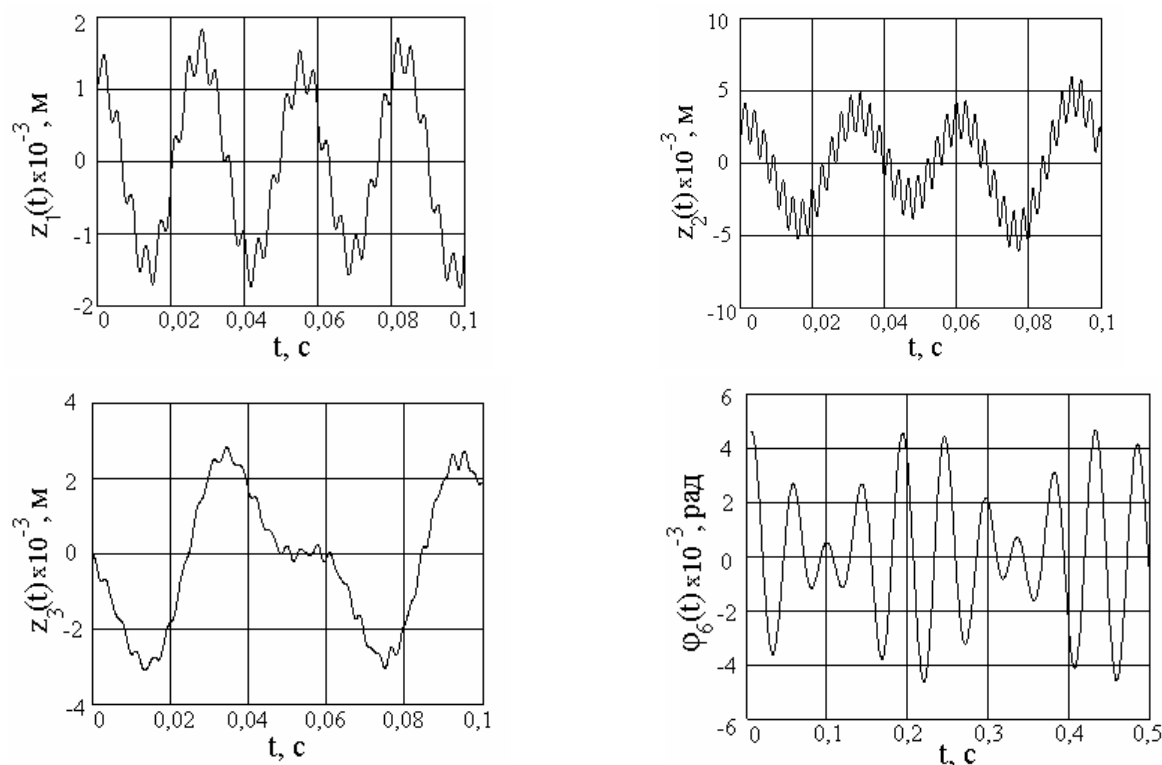


Рис. 5. Динамика рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 (прокатка черновой трубы диаметром 273×6,3 мм, материал — сталь 20): $z_1(t)$ — суммарные линейные смещения центра масс рабочей клетки на опорах; $z_2(t)$ — суммарные линейные смещения передних лап рабочей клетки на опорах; $z_3(t)$ — суммарные линейные смещения задних лап рабочей клетки на опорах; $\varphi_6(t)$ — суммарные угловые перемещения рабочей клетки стана

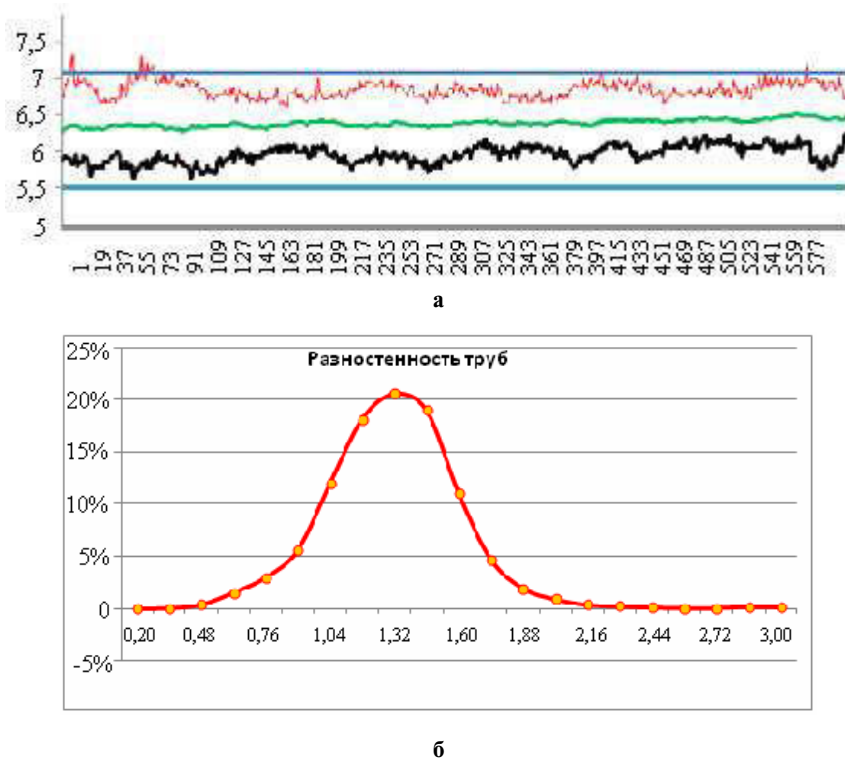


Рис. 6. Результаты стенкометрии (а) и распределение продольной разностенности труб (б) размером 273×6,3 мм после ремонта механизма удержания рабочей клетки автоматического стана ТПА 350

гильзы на этапе проектирования технологических процессов прокатки труб на автоматическом стане ТПА существенно отличает полученные результаты от результатов ранее известных работ в области исследования динамики и виброактивности упругих подсистем рабочей клетки и механизма ее удержания на опорных узлах стана.

Для получения объективной картины изменения качественных характеристик прокатаемых труб до и после восстановления (ремонта) клетки автоматического стана ТПА 350 и была произведена оценка данных толщинометрии труб, прокатанных в разное время (до и после ремонта механизма удержания рабочей клетки соответственно).

На рис. 6 приведена картина изменения разностенности по длине партии черновых труб, прокатанных на автоматическом стане ТПА 350 [5].

Выводы

Уточнена расчетная схема взаимосвязанных механических подсистем рабочей клетки автоматического стана ТПА и разработана математическая модель динамики для механической системы «рабочая клетка — механизм удержания клетки» для механической системы с четырьмя степенями свободы. Учтены циклический харак-

тер технологических нагрузок и динамические характеристики базовых элементов (шин, тумб и анкеров) механизма удержания рабочей клетки автоматического стана ТПА на соответствующих опорных плоскостях. Приведены результаты численного решения дифференциальных уравнений перемещений узловых элементов рабочей клетки автоматического стана ТПА. Это позволило в комплексе оценить амплитудно-частотные характеристики, как рабочей клетки автоматического стана, так и подсистем опорных узлов клетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технология трубного производства*. Учебник для вузов / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. — М.: Интермет, 2002. — 640 с.
2. *Кожеевников С.Н.* Динамика нестационарных процессов в машинах. — К.: Наукова думка, 1986. — 288 с.
3. *Рахманов С.Р., Любин Н.В.* Динамика рабочей клетки автоматического стана трубoproкатного агрегата // *Вибрация в технике и технологиях*. — 2016. — № 1(81). — С.105-112.
4. *Вышинский В.Т., Поворотный В.В., Мокиевец А.В.* Динамическая модель рабочей клетки чистой группы НТЛС — 1680 // *Пластическая деформация металлов*. — Днепропетровск: Пороги 2014. — Т.2. — 262 с.

5. Технический отчёт мониторинга пространственного положения клетки в процессе эксплуатации с регистрацией динамических смещений и углов отклонения клетки автоматического ТПА 350. — Никополь 2018. — 287 с.

Поступила в редакцию 12.11.2018

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОЧОЇ КЛІТИ АВТОМАТИЧНОГО СТАНУ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ

Рахманов С.Р., Вишинський В.Т., Пача С.В.

Найбільш вузьким місцем агрегату для виробництва безшовних гарячекатаних труб є автоматичний стан. Складнощі аналізу явищ, що відбуваються в осередку деформації цього стану, обумовлені тим, що на оброблюваний виріб спільно з валками і оправкою впливає стержневий механізм утримання оправки на осі прокатки. Це формує специфічні початкові умови не лише протікання технологічного процесу, але і обумовлюють складну поведінку робочої кліти. Найменш вивченими серед процесів, супроводжуючих процес прокатки гільз на автоматичному стані, є поведінка комплексу, що включає станину робочої кліти з усіма механізмами її утримання. Дослідження умов експлуатації трубопрокатного агрегата (ТПА) з автоматичними станами показує, що їх відмінною особливістю від інших станів технологічного циклу прокатки безшовних труб є наявність нестационарних динамічних процесів. При цьому навантаження в періоди захоплення гільзи, наприклад, на автоматичному стані ТПА 350, в 3–5 разів перевищують навантаження при процесі прокатки, що встановився. Математична модель процесу взаємодії прокатуваної заготовки з елементами робочої кліти, що розглядається у відомих роботах, не дозволяє повністю надати особливості функціонування робочої кліти в процесі прокатки гільзи. Наведені результати дослідження уточненої динамічної моделі цього комплексу автоматичного стану трубопрокатного агрегата ТПА. Отримані картини віброактивності елементів робочої кліти і опорних вузлів механізму утримання цієї механічної системи. На прикладі розрахунку динаміки робочої кліти автоматичного стану ТПА 350 встановлені деякі особливості функціонування механічної системи з чотирма ступенями свободи. Виявлені параметри динамічності робочої кліти автоматичного стану і механізму її утримання, що впливають на значення такого важливого параметра як різноспінність прокатуваних гільз. Це дозволило сформулювати пропозиції з вдосконалення вузлів системи утримання робочої кліти автоматичного стану ТПА 350.

Ключові слова: агрегат для виробництва безшовних гарячекатаних труб, осередок деформації автоматичного стану, станина робочої кліти, механізми утримання робочої кліти, нестационарні динамічні процеси, картини віброактивності, різноспінність гільз.

FEATURES OF FUNCTIONING OF THE WORKING STAND OF THE AUTOMATIC MILL IN THE PIPE-ROLLING UNIT

Rakhmanov S.R.^a, Vyshynskiy V.T.^a, Pacha S.V.^b

^aNational Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

^bIndustrial Group "Technology", Zaporozhye, Ukraine

The bottleneck of unit for production of seamless hot-rolled pipes is an automatic mill. The complexity of the analysis of the phenomena occurring in the deformation zone of the automatic mill, due to the fact that the core product, together with the rollers and the

mandrel, is affected by the core mechanism for holding the mandrel on the rolling axis. This fact forms a specific initial conditions not only for the flow of the process, but also determines the complex behavior of the working stand. The least studied among the processes accompanying the process of rolling sleeves on an automatic mill are the behavior of the complex, including the frame of the working stand with all its containment mechanisms. Studies of the operating conditions of pipe-rolling unit (PRU) with automatic mills shows that their distinctive feature in the technological cycle of rolling seamless pipes is the presence of non-stationary dynamic processes. In this case, the loads during the periods of capturing the liner, for example, on an automatic PRU 350 mill, are 3–5 times greater than the loads during the steady rolling process. The mathematical model of the process of interaction of the rolled billet with the elements of the working stand, which is considered in the well-known works, does not allow to fully represent the features of the functioning of the working stand in the process of rolling the liner. The results of the study of the refined dynamic model of this complex of an automatic mill of a PRU tube rolling mill are given. Pictures of the vibroactivity of the elements of the working stand and supporting units of the mechanism for holding the mechanical system are obtained. On the example of calculating the dynamics of the working stand of an automatic PRU 350 mill, some features of the functioning of a mechanical system with four degrees of freedom are established. The dynamic parameters of the working stand of the automatic mill and the mechanism of its retention, affecting the value of such an important parameter as spacing of rolled sleeves are revealed. This allowed us to formulate proposals for improving the components of the retention system of the working stand of the automatic machine PRU 350.

Keywords: pipe-rolling unit (PRU), the deformation center of the automatic mill, the base of the working stand, the mechanisms of holding the working stand, non-stationary dynamic processes, pictures of vibroactivity, the difference thickness of the rolled sleeve.

REFERENCES

1. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romancev B.A., Samusev S.V. *Tehnologia trubnogo proizvodstva. Uchebnik dla vuzov* [Technology of pipe production. Textbook for institutions of higher learning.] Moskva: Intermet, 2002. 640 p. (in Russian).
2. Koshevnikov S.N. *Dinamika nestacionarnih procesov v mashinakh* [A dynamics of transients is in machines] Kiev, Naukova dumka, 1986. 288 p. (in Russian).
3. Rakhmanov S.R., Lubin N.V. *Dinamika rabochei kleti avtomaticheskogo stana truboprokatnogo agregata* [Dynamics of working stand of automatic figure of aggregate for the production of seamless hot-rolled pipes] Kiev: A vibrations is in a technique and technologies, 2016, no. 1(81), pp.105–112. (in Russian).
4. Vyshynskiy V.T., Povorotniy V.V., Mokiev A.V. *Dinamicheskaya model rabochei kleti chistovoy grupy NTLS-1680* [Dynamic model of working stand of clean group NTLS-1680]. Dnepropetrovsk: Porogi, 2014. pp.61–66. (in Russian).
5. *Tehnicheskii otchet monitoringa prostranstvennogo polozheniya kleti v processe ekspluatatsii s registratsiey dinamicheskikh smeshcheniy i uglov otkloneniy kleti avtomaticheskogo TPA 350* [Technical report of monitoring of spatial position of cage in the process of exploitation with registration of dynamic displacements and corners of rejection of cage of automatic figure of aggregate for the production of seamless hot-rolled pipes] Nikopol, 2018. 287 p. (in Russian).

УДК 539.3

*Старовойтов Э.И., Козел А.Г.***НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ КРУГОВОЙ ПЛАСТИНЫ, СВЯЗАННОЙ СО СЛОЖНЫМ ОСНОВАНИЕМ****Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь**

В наше время композиционные, в том числе трехслойные, элементы конструкций нашли широкое применение в строительстве и машиностроении. Это вызывает необходимость создания соответствующих математических моделей и методов расчета их напряженно-деформированного состояния при различных условиях эксплуатации. Здесь приведена постановка краевой задачи об осесимметричном деформировании упругой трёхслойной круговой пластины на сложном основании модели Пастернака, что позволяет учитывать влияние сдвиговых свойств материала основания на напряженно-деформированное состояние исследуемой конструкции. Для описания кинематики несимметричного по толщине пакета пластины приняты гипотезы ломаной линии. В тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа. В несжимаемом по толщине легком заполнителе выполняется гипотеза Тимошенко с линейной аппроксимацией перемещений по толщине слоя. На контуре предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительно сдвигу слоев. Система дифференциальных уравнений равновесия получена вариационным методом. Работа тангенциальных напряжений в заполнителе не учитывалась. Решение краевой задачи сведено к нахождению трех искомых функций – прогиба пластины, относительного сдвига и радиального перемещения в заполнителе. Получено общее аналитическое решение краевой задачи в функциях Бесселя. Численно исследовано влияние сдвиговых свойств основания на напряженное состояние пластины при различных коэффициентах сжатия и сдвига основания. Проведено сравнение расчетных значений перемещений и напряжений, полученных с использованием моделей Пастернака и Винклера. Показано, что учет сдвиговых свойств материала основания приводит к уменьшению расчетных параметров.

Ключевые слова: осесимметричный изгиб, трехслойная круговая пластина, коэффициенты сжатия и сдвига основания, основание Пастернака.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-73-80

Анализ последних исследований и публикаций

В монографиях [1–4] рассматриваются различные математические модели статического и динамического деформирования неоднородных элементов конструкций, приведены постановки краевых задач, изложены методы их расчета. В статьях [5–9] исследовано: динамическое нагружение композитных сэндвич-балок и пластин, в том числе с помощью метода усреднения упругих свойств материалов слоев; распространение волн в слоях упругих конструкций; распределение напряжений при нестационарном контакте с подвижными границами.

Модель упругого основания с использованием двух коэффициентов постели, учитывающая его сжимаемость и связность, была предложена П.Л. Пастернаком [10] при взаимодействии с однородными элементами конструкций.

Предлагаемая работа распространяет эту модель на случай трехслойных пластин, взаимодействующих со сложным основанием Пастернака.

Постановка краевой задачи

Рассматривается осесимметричное деформирование поперечно нагруженной упругой трехслойной круговой пластины (радиуса R),

покоящейся на упругом основании (рис. 1). Для изотропных несущих слоев толщиной h_1, h_2 приняты гипотезы Кирхгофа о несжимаемости, прямолинейности и перпендикулярности нормали к деформированной срединной поверхности. В несжимаемом по толщине заполнителе ($h_3=2c$) деформированная нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол ψ . Заполнитель считается легким, т.е. не учитывается его работа в тангенциальном направлении. На контуре пластины предполагается жесткая диафрагма, которая препятствует относительно сдвигу слоев. Решение задачи сводится к нахождению четырех неизвестных функций — радиального перемещения $u(r)$ и относительно сдвига в заполнителе $\psi(r)$, прогиба пластины $w(r)$, осадки поверхности свободного основания w_d .

Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат r, φ, z , связанной со срединной плоскостью заполнителя. На внешние слои стержня действует распределенная нагрузка $q_0(r)$ и реакция основания, которая описывается моделью Пастернака [10]:

$$q_R(r) = -\kappa_0 w + t_f \Delta w, \quad (1)$$

где $w(r)$ — прогиб пластины; κ_0, t_f — коэффициенты сжатия и сдвига материала основания; Δ — оператор Лапласа в полярной системе координат

$$\Delta w(r) = \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw}{dr}.$$

Используя гипотезу прямолинейности нормали заполнителя

$$2\varepsilon_{rz}^{(3)} = u_{r,z}^{(3)} + w_{,r} = \psi,$$

после интегрирования получим выражения радиальных перемещений $u_r^{(k)}$ в слоях ($k=1,2,3$ — номер слоя) через три искомые функции:

$$\begin{aligned} u_r^{(1)} &= u + c\psi - zw_{,r} & (c \leq z \leq c+h_1), \\ u_r^{(3)} &= u + z\psi - zw_{,r} & (-c \leq z \leq c), \\ u_r^{(2)} &= u - c\psi - zw_{,r} & (-c-h_2 \leq z \leq -c), \end{aligned} \quad (2)$$

где $(u+c\psi)$ — величина смещения внешнего несущего слоя за счет деформации заполнителя, для второго несущего слоя это смещение $(u-c\psi)$, z — координата рассматриваемого волокна, запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Деформации в слоях следуют из (2) и соотношений Коши.

$$\varepsilon_r^{(1)} = u_{,r} + c\psi_{,r} - zw_{,rr}, \quad \varepsilon_\varphi^{(1)} = \frac{1}{r}(u + c\psi - zw_{,r}), \quad \varepsilon_{rz}^{(1)} = 0,$$

$$\varepsilon_r^{(2)} = u_{,r} - c\psi_{,r} - zw_{,rr}, \quad \varepsilon_\varphi^{(2)} = \frac{1}{r}(u - c\psi - zw_{,r}), \quad \varepsilon_{rz}^{(2)} = 0,$$

$$\varepsilon_r^{(3)} = u_{,r} + z\psi_{,r} - zw_{,rr}, \quad \varepsilon_\varphi^{(3)} = \frac{1}{r}(u + z\psi - zw_{,r}),$$

$$\varepsilon_{rz}^{(3)} = \frac{1}{2}\psi. \quad (3)$$

Используя компоненты тензора напряжений $\sigma_\alpha^{(k)}$ ($\alpha=r, \varphi$), введем обобщенные внутренние силы и моменты в пластине:

$$T_\alpha \equiv \sum_{k=1}^3 T_\alpha^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_\alpha^{(k)} dz;$$

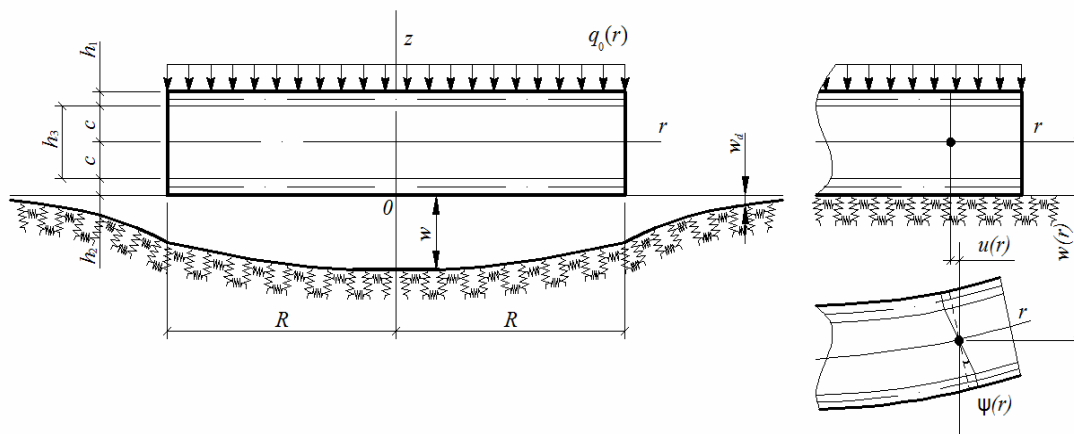


Рис. 1. Схема деформирования круговой пластины

$$M_{\alpha} \equiv \sum_{k=1}^3 M_{\alpha}^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_{\alpha}^{(k)} z dz;$$

$$H_{\alpha} = M_{\alpha}^{(3)} + c(T_{\alpha}^{(1)} - T_{\alpha}^{(2)}). \quad (4)$$

Уравнения равновесия рассматриваемой пластины получим из вариационного принципа Лагранжа [4], приравняв виртуальную работу к работе внешних и контурных усилий, с учетом равенства при любых значениях варьируемых перемещений. В результате имеем систему дифференциальных уравнений в усилиях, описывающую равновесие круговой трехслойной пластины на упругом основании Пастернака:

$$T_{r,r} + \frac{1}{r}(T_r - T_{\varphi}) = 0;$$

$$H_{r,r} + \frac{1}{r}(H_r - H_{\varphi}) = 0;$$

$$M_{r,r} + \frac{1}{r}(2M_{r,r} - M_{\varphi,r}) = -(q_0 - q_R). \quad (5)$$

При этом на контуре пластины ($r=R$) должны выполняться силовые граничные условия:

$$T_r = T_r^0, \quad H_r = H_r^0, \quad M_r = M_r^0, \quad M_{r,r} + \frac{1}{r}(M_r - M_{\varphi}) = Q^0. \quad (6)$$

Предполагается, что связь напряжений и деформаций в слоях ($k=1,2,3$) описывается соотношениями линейной теории упругости:

$$s_{\alpha}^{(k)} = 2G_k \varepsilon_{\alpha}^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = K_k \theta^{(k)}, \quad (7)$$

где $s^{(k)}$, $e^{(k)}$, $s_{\alpha}^{(k)}$, $\varepsilon_{\alpha}^{(k)}$ — шаровые и девиаторные составляющие тензоров напряжений и деформаций, G_k — модуль сдвига, K_k — модуль объемной деформации, $\theta^{(k)}$ — объемная деформация.

Подставив в (7) деформации (3) и воспользовавшись соотношениями (4), получим выражение обобщенных усилий T_{α} , M_{α} и H_{α} ($\alpha=r, \varphi$) через три искомые функции: $u(r)$, $\psi(r)$, $w(r)$. Например, T_r , M_r будут:

$$T_r = \sum_{k=1}^3 h_k (K_k^+ u_{,r} + \frac{u}{r} K_k^-) + c(K_1^+ h_1 - K_2^+ h_2) \psi_{,r} +$$

$$+ c(K_1^- h_1 - K_2^- h_2) \frac{\psi}{r} - \left[K_1^+ h_1 \left(c + \frac{h_1}{2} \right) - K_2^+ h_2 \left(c + \frac{h_2}{2} \right) \right] w_{,rr} -$$

$$- \left[K_1^- h_1 \left(c + \frac{h_1}{2} \right) - K_2^- h_2 \left(c + \frac{h_2}{2} \right) \right] \frac{w_{,r}}{r},$$

$$M_r = \left[K_1^+ h_1 \left(c + \frac{h_1}{2} \right) - K_2^+ h_2 \left(c + \frac{h_2}{2} \right) \right] u_{,r} +$$

$$+ \left[K_1^- h_1 \left(c + \frac{h_1}{2} \right) - K_2^- h_2 \left(c + \frac{h_2}{2} \right) \right] \frac{u}{r} +$$

$$+ \left[c K_1^+ h_1 \left(c + \frac{h_1}{2} \right) + c K_2^+ h_2 \left(c + \frac{h_2}{2} \right) + \frac{2}{3} c^3 K_3^+ \right] \psi_{,r} +$$

$$+ \left[c K_1^- h_1 \left(c + \frac{h_1}{2} \right) + c K_2^- h_2 \left(c + \frac{h_2}{2} \right) + \frac{2}{3} c^3 K_3^- \right] \frac{\psi}{r} -$$

$$- \left[K_1^+ h_1 \left(c^2 + c h_1 + \frac{h_1^2}{3} \right) + K_2^+ h_2 \left(c^2 + c h_2 + \frac{h_2^2}{3} \right) + \frac{2}{3} c^3 K_3^+ \right] w_{,rr} -$$

$$- \left[K_1^- h_1 \left(c^2 + c h_1 + \frac{h_1^2}{3} \right) + K_2^- h_2 \left(c^2 + c h_2 + \frac{h_2^2}{3} \right) + \frac{2}{3} c^3 K_3^- \right] \frac{w_{,r}}{r}, \quad (8)$$

где $K_k + \frac{4}{3} G_k \equiv K_k^+$, $K_k - \frac{2}{3} G_k \equiv K_k^-$.

После подстановки обобщенных внутренних усилий и моментов T_{α} , M_{α} и H_{α} ($\alpha=r, \varphi$), выраженных через искомые функции в (5) и с учетом реакции основания (1), получим в перемещениях следующую систему уравнений равновесия, описывающую изгиб круговой трехслойной пластины на упругом двухпараметрическом основании Пастернака:

$$L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r}) = 0;$$

$$L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r}) = 0;$$

$$L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r}) - \kappa_0 w + t_f \Delta w = -q_0, \quad (9)$$

где коэффициенты a_i и линейные дифференциальные операторы L_k определяются формулами:

$$a_1 = \sum_{k=1}^3 h_k K_k^+, \quad a_2 = c(h_1 K_1^+ - h_2 K_2^+);$$

$$a_3 = h_1(c + \frac{1}{2} h_1) K_1^+ - h_2(c + \frac{1}{2} h_2) K_2^+;$$

$$a_4 = c^2(h_1 K_1^+ + h_2 K_2^+ + \frac{2}{3} c K_3^+);$$

$$a_5 = c \left[h_1 \left(c + \frac{1}{2} h_1 \right) K_1^+ + h_2 \left(c + \frac{1}{2} h_2 \right) K_2^+ + \frac{2}{3} c^2 K_3^+ \right];$$

$$a_6 = h_1 (c^2 + ch_1 + \frac{1}{3} h_1^2) K_1^+ + h_2 (c^2 + ch_2 + \frac{1}{3} h_2^2) K_2^+ + \frac{2}{3} c^3 K_3^+;$$

$$L_3(g) \equiv \frac{1}{r} (r L_2(g))_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{2g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2} + \frac{g}{r^3};$$

$$L_2(g) \equiv \left(\frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}.$$

Краевая задача по определению перемещений в круглой пластине на основании Пастернака замыкается присоединением к (9) силовых (6) или кинематических граничных условий. В частности, при жёсткой заделке контура пластины должны выполняться требования ($r=R$):

$$u = \psi = w = w_{,r} = 0. \quad (10)$$

При шарнирном опирании контура пластины:

$$u = \psi = w = 0, \quad M_r = 0. \quad (11)$$

В случае свободного контура пластины:

$$\psi = 0, \quad T_r = M_r = M_{r,r} = 0, \quad (12)$$

где внутренние усилия T_r , M_r определяются формулами (8).

Общее решение краевой задачи

Рассмотрим процедуру решения этой системы уравнений. С помощью первых двух уравнений системы (13) в третьем уравнении обнуляем коэффициенты перед функциями u и ψ . После двукратного интегрирования и некоторых преобразований получим:

$$u = b_1 w_{,r} + C_1 r + \frac{C_2}{r};$$

$$\psi = b_2 w_{,r} + C_3 r + \frac{C_4}{r};$$

$$w_{,rrrr} + \frac{2}{r} w_{,rrr} - \frac{1}{r^2} w_{,rr} + \frac{1}{r^3} w_{,r} - t_f D (w_{,rr} + \frac{1}{x} w_{,r}) + \kappa_0 D w = q_0 D, \quad (13)$$

где C_1 , C_2 , C_3 , C_4 — константы интегрирования,

определяемые из граничных условий (10)–(12); коэффициенты $q = q_0 D$, $2t_0^2 = t_{f1}/\kappa^2$,

$$b_1 = \frac{a_1 a_4 - a_2 a_5}{a_1 a_4 - a_2^2}, \quad b_2 = \frac{a_1 a_5 - a_2 a_6}{a_1 a_4 - a_2^2},$$

$$D = \frac{a_1 (a_1 a_4 - a_2^2)}{(a_1 a_6 - a_3^2)(a_1 a_4 - a_2^2) - (a_1 a_5 - a_2 a_3)^2}.$$

Получим решение однородного уравнения, соответствующего третьему уравнению в (13). Для этого приравняем левую часть уравнения нулю и введем замену переменной $x = \kappa r$. В результате приходим к уравнению вида

$$w_{,xxxx} + \frac{2}{x} w_{,xxx} - \frac{1}{x^2} w_{,xx} + \frac{1}{x^3} w_{,x} - 2t_0^2 (w_{,xx} + \frac{1}{x} w_{,x}) + w = 0$$

или в операторном виде:

$$\Delta^2 w - 2t_0^2 w + w = 0, \quad (14)$$

где $2t_0^2 = t_{f1}/\kappa^2$, $t_{f1} = t_f D$, $\kappa^4 = \kappa_0 D$,

$$\Delta w(x) = \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dw}{dx} = \frac{1}{x} \frac{d}{dx} \left(x \frac{dw}{dx} \right).$$

Уравнение (14) может быть приведено к системе эквивалентных ему двух уравнений второго порядка. Пусть $w = w(x)$ — некоторое частное решение однородного уравнения (14), удовлетворяющее в то же время уравнению:

$$\Delta w + \lambda w = 0, \quad (15)$$

где λ — константа, подлежащая определению.

Исходя из уравнения (15), имеем:

$$\Delta w = -\lambda w, \quad \Delta^2 w = \lambda^2 w. \quad (16)$$

Подставив теперь выражения (16) в исходное уравнение (14), получим относительно w характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 + 2t_0^2 \lambda + 1 = 0. \quad (17)$$

Значения корней уравнения (17) определяются формулами:

$$\lambda_1 = -t_0^2 + \sqrt{(t_0^2)^2 - 1};$$

$$\lambda_2 = -t_0^2 - \sqrt{(t_0^2)^2 - 1} . \quad (18)$$

Следует отметить, что если в качестве упругого основания рассматриваются реальные грунты, то значение интегральной характеристики t_0 находится в пределах $0 \leq t_0^2 \leq 1$ [11]. Случай $t_0^2 = 0$ соответствует отсутствию сдвига в упругом основании $t_f = 0$.

Таким образом, корни характеристического уравнения (18) можно рассматривать как комплексно сопряженные величины:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= a = -a_1 + ib_1, \\ \lambda_2 &= \bar{a} = -a_1 - ib_1, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{где } a_1 = t_0^2, \quad b_1 = \sqrt{1 - (t_0^2)^2}.$$

Из уравнения (16), следует, что двум комплексно сопряженным корням (19) соответствуют два линейно независимых уравнения второго порядка:

$$\begin{aligned} w_{1,xx} + \frac{1}{x} w_{1,x} + a w_1 &= 0, \\ w_{2,xx} + \frac{1}{x} w_{2,x} + \bar{a} w_2 &= 0. \end{aligned} \quad (20)$$

Общий интеграл основного дифференциального уравнения (13) можно представить в виде:

$$w = w_1 + w_2 + w_p, \quad (21)$$

где w_p – частное решение уравнения (13), w_1 и w_2 – фундаментальная система частных интегралов, удовлетворяющая уравнениям (20).

Решение уравнений (21) можно записать в виде [12]:

$$\begin{aligned} w_1(x) &= C_5 J_0(\sqrt{a}x) + C_6 H_0^{(1)}(\sqrt{a}x); \\ w_2(x) &= C_7 J_0(\sqrt{\bar{a}}x) + C_8 H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}}x), \end{aligned} \quad (22)$$

где $J_0(\sqrt{a}x)$, $J_0(\sqrt{\bar{a}}x)$ – функции Бесселя первого рода, нулевого порядка, комплексных аргументов $\sqrt{a}x$ и $\sqrt{\bar{a}}x$; $H_0^{(1)}(\sqrt{a}x)$, $H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}}x)$ – функции Ханкеля первого и второго рода, нулевого порядка от тех же аргументов.

Используя решение (22), перепишем общее решение (21) в окончательной форме:

$$w = C_5 J_0(\sqrt{a}x) + C_6 H_0^{(1)}(\sqrt{a}x) + C_7 J_0(\sqrt{\bar{a}}x) + C_8 H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}}x) + w_p. \quad (23)$$

Случай равномерно распределенной нагрузки

Рассмотрим расположенную на упругом однослойном основании круглую трёхслойную пластину радиуса R , находящуюся под действием равномерно распределённой нагрузки $q_0 = \text{const}$. Дифференциальное уравнение изгиба (13) для такой пластины может быть записано в виде:

$$\Delta^2 w - 2t_0^2 \Delta w + w = \frac{q_0}{\kappa_0}. \quad (24)$$

В области внешней по отношению к пластине справедливо однородное дифференциальное уравнение, которое имеет вид [11]:

$$\Delta w_d - \alpha_0^2 w_d = 0, \quad (25)$$

$$\text{где } \alpha_0^2 = \frac{\kappa_0}{t_f \kappa^2} = \frac{\sqrt{\kappa_0}}{t_f \sqrt{D}} = \frac{\kappa^2}{t_f D}.$$

Тогда общее решение (23), с учетом частного решения (24), и решение уравнения (25), могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} w &= C_5 J_0(\sqrt{a}x) + C_6 H_0^{(1)}(\sqrt{a}x) + C_7 J_0(\sqrt{\bar{a}}x) + \\ &+ C_8 H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}}x) + \frac{q_0}{\kappa_0}, \end{aligned} \quad (26)$$

$$w_d = C_9 I_0(\alpha_0 x) + C_{10} K_0(\alpha_0 x),$$

где $I_0(\alpha_0 x)$, $K_0(\alpha_0 x)$ – модифицированные функции Бесселя первого и второго рода (функция Макдональда) нулевого порядка аргумента $\alpha_0 x$.

Функция $I_0(\alpha_0 x)$ при $x \rightarrow \infty$ неограниченно возрастает, что противоречит условию затухания осадок упругого основания вдали от места приложения нагрузки ($w_d \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$), то необходимо положить $C_9 = 0$.

Общее решение дифференциальных уравнений для прогиба и осадки (26) и остальные искомые функции системы (13), с учетом ограниченности решения в начале координат ($C_2 = C_4 = C_6 = C_8 = 0$), в этом случае могут быть представлены в виде:

$$u = -\kappa b_1 (C_5 \sqrt{a} J_1(\sqrt{a} \kappa r) + C_7 \sqrt{\bar{a}} J_1(\sqrt{\bar{a}} \kappa r)) + C_{11} r;$$

$$\psi = -\kappa b_2 (C_5 \sqrt{a} J_1(\sqrt{a} \kappa r) + C_7 \sqrt{\bar{a}} J_1(\sqrt{\bar{a}} \kappa r)) + C_{12} r;$$

$$w = C_5 J_0(\sqrt{a} \kappa r) + C_7 J_0(\sqrt{\bar{a}} \kappa r) + \frac{q_0}{\kappa_0};$$

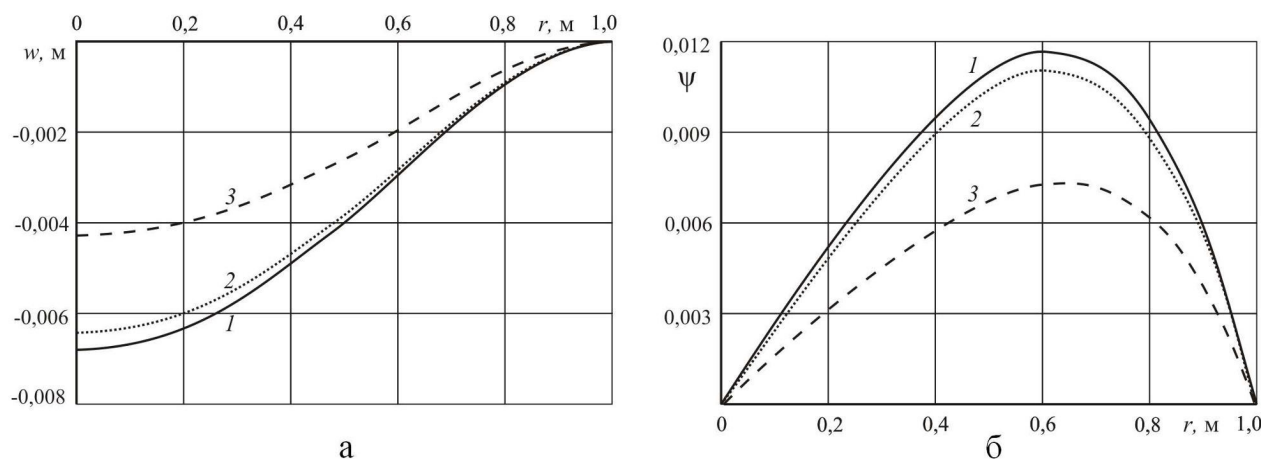


Рис. 2. Изменение прогиба w и сдвига в заполнителе ψ вдоль радиуса пластины при коэффициенте жёсткости основания $k_0=100$ МПа/м

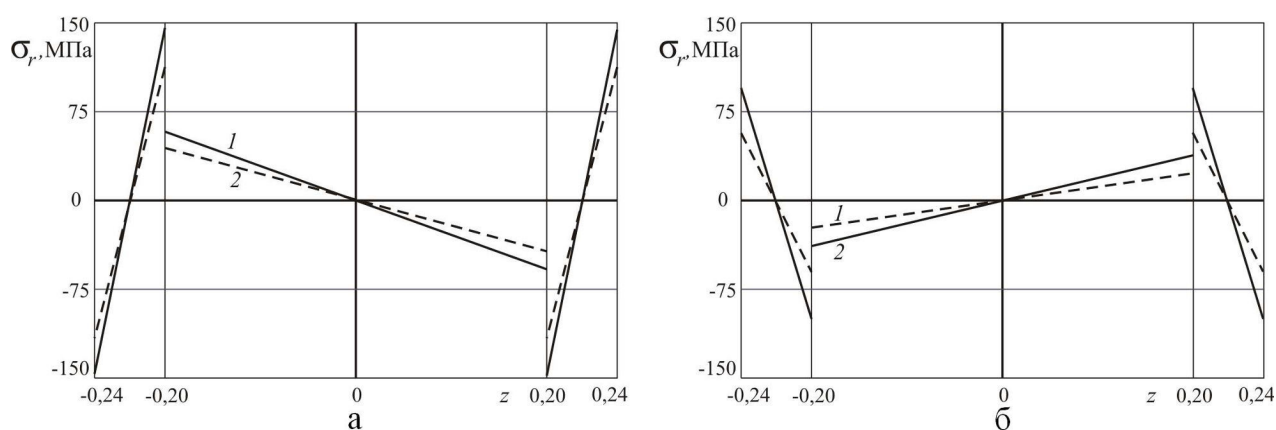


Рис. 3. Изменение радиальных напряжений σ_r по толщине на контуре и в центре пластины ($k_0=100$ МПа/м)

$$w_d = C_{10} K_0 (\alpha_0 x),$$

где q_0/k_0 – частный интеграл неоднородного дифференциального уравнения (24); C_1, C_3, C_5, C_7 – произвольные постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий (10)–(12).

Численные результаты

Численный параметрический анализ проведен для защемлённой по контуру пластины единичного радиуса $R=1$ м, слои которой набраны из материалов Д16Т-фторопласт-Д16Т [13]. Принимались: величина интенсивности поверхностной нагрузки $q_0=-1$ МПа; толщины слоёв $h_1=h_2=0,04$ м, $h_3=0,4$ м; отношение коэффициентов, согласно рекомендациям Пастернака [10], $t_f/k_0 < 1$. Градация оснований по жесткости в дальнейшем принята следующая [4]: при $k_0 \leq 30$ МПа/м – основания малой жесткости (легкие); $30 \leq k_0 \leq 650$ МПа/м – основания средней жесткости; $k_0 \geq 650$ МПа/м – основания вы-

сокой жесткости.

На рис. 2,а и 2,б показано изменение прогиба w и сдвига в заполнителе ψ вдоль радиуса рассматриваемой пластины при основании средней жесткости ($k_0=100$ МПа/м) и различных коэффициентах сдвига основания t_f (МПа·м): 1 – $t_f=0$ (этот случай соответствует основанию модели Винклера), 2 – $t_f=1$, 3 – $t_f=10$. С ростом коэффициента t_f уменьшается прогиб пластины и сдвиг в заполнителе. При малых значениях $t_f < 0,1$ МПа·м изменения не существенные, и сдвиговой деформацией основания можно пренебречь. При увеличении коэффициента сдвига до 1 МПа·м прогиб уменьшается на 5%, в случае $t_f=10$ МПа·м прогиб уменьшается на 37%. Аналогично ведёт себя сдвиг в заполнителе.

На рис. 3 показано изменение радиальных напряжений $\sigma_r(z)$ по толщине пластины на её контуре (а) и в центре (б): 1 – $t_f=0$, 2 – $t_f=10$ МПа·м. Картина напряжений симметрич-

на относительно срединной поверхности заполнителя в силу симметрии пластины по толщине. В центре пластины верхние части несущих слоев сжаты, заполнителя — растянуты. На контуре наблюдается противоположная картина. В склейках слоев напряжения имеют одинаковые знаки, но терпят разрыв из-за различных упругих характеристик материалов слоев. При учёте коэффициента сдвига $t_f = 10$ МПа·м напряжения уменьшаются, на контуре пластины до 29%, в центре — на 41%. В заполнителе напряжения увеличены в 10 раз.

Выводы

Учёт сдвиговых свойств упругого основания существенно уточняет картину напряжённо-деформированного состояния трёхслойной пластины, связанной с основанием Пастернака.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда фундаментальных исследований РБ (проект № T18P-090).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. — М.: Машиностроение, 1980. — 375 с.
2. Прикладные задачи механики композитных цилиндрических оболочек / Соломонов Ю.С., Георгиевский В.П., Недбай А.Я., Андришин В.А. — М: ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 408 с.
3. Головки К.Г., Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках. — Киев: Киевский ун-т, 2012. — 541 с.
4. Старовойтов Э.И., Яровая А.В., Леоненко Д.В. Деформирование трехслойных элементов конструкций на упругом основании. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 380 с.
5. The oblique impact response of composite sandwich plates Ivañez I., Moure M.M., Garcia-Castillo S.K., Sanchez-Saez S. // Composite Structures. — 2015. — № 133 — P.1127-1136.
6. Grover N., Singh B.N., Maiti D.K. An inverse trigonometric shear deformation theory for supersonic flutter characteristics of multilayered composite plates // Aerospace Science and Technology. — 2016. — № 52. — P.41-51.
7. Škec L., Jelenić G. Analysis of a geometrically exact multi-layer beam with a rigid interlayer connection // Acta Mechanica. — 2014. — Vol.225. — № 2. — P.523-541.
8. Kuznetsova E.L., Tarlakovskii D.V., Fedotenkov G.V. Propagation of Unsteady Waves in an Elastic Layer // Mechanics of Solids. — 2011. — Vol.46. — No. 5. — P.789-787.
9. Fedotenkov G.V., Tarlakovskiy D.V. Analytic investigation of features of stresses in plane non-stationary contact problems with moving boundaries // Journal of Mathematical Sciences. — 2009. — Vol.162. — No. 2. — P.246-253.
10. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчёта фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. — М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1954. — 55 с.
11. Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки, плиты, оболочки на упругом основании. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. — 491 с.
12. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — М.: Наука, 1976. — 576 с.
13. Starovoitov É.I. Description of the thermomechanical properties of some structural materials // Strength of materials. — 1988. — Vol.20. — № 4. — P.426-431.

Поступила в редакцию 20.06.2018

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ТРИШАРОВОЇ КРУГОВОЇ ПЛАСТИНИ, ПОВ'ЯЗАНОЇ ЗІ СКЛАДНОЮ ОСНОВОЮ

Старовойтов Е.І., Козел А.Г.

У наш час композиційні, в тому числі тришарові елементи конструкцій, знайшли широке застосування в будівництві та машинобудуванні. Це викликає необхідність створення відповідних математичних моделей і методів розрахунку їх напружено-деформованого стану при різних умовах експлуатації. Тут наведена постановка крайової задачі при вісесиметричній деформації пружної тришарової кругової пластины на складній основі моделі Пастернака, що дозволяє враховувати вплив зсувних властивостей матеріалу основи на напружено-деформований стан досліджуваної конструкції. Для опису кінематики несиметричного по товщині пакета пластин прийняті гіпотези ламаної лінії. В тонких несучих шарах справедливий гіпотези Кірхгофа. У нестисливому по товщині легкому заповнювачі виконується гіпотеза Тимошенко з лінійною апроксимацією переміщень по товщині шару. На контурі передбачається наявність жорсткої діафрагми, що перешкоджає відносному зсуву шарів. Система диференціальних рівнянь рівноваги отримана варіаційним методом. Робота тангенціальних напружень в заповнювачі не враховувалася. Рішення крайової задачі зведено до знаходження трьох шуканих функцій — прогину пластины, відносного зсуву і радіального переміщення в заповнювачі. Отримано загальний аналітичний розв'язок крайової задачі в функціях Бесселя. Чисельно досліджено вплив зсувних властивостей основи на напружений стан пластины при різних коефіцієнтах стиснення і зсуву основи. Здійснено порівняння розрахункових значень переміщень і напружень, отриманих з використанням моделей Пастернака і Вінклера. Показано, що облік зсувних властивостей матеріалу підстави призводить до зменшення розрахункових параметрів.

Ключові слова: тришарова кругова пластина, вісесиметричний вигин, основа Пастернака, напружений стан.

STRESS-STRAIN STATE OF A THREE-LAYER CIRCULAR PLATE CONNECTED WITH A COMPLEX BASE

Starovoitov E.I., Kozel A.G.

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

In our time, compositional, including three-layer structural elements have found wide application in construction and mechanical engineering. This calls for the creation of appropriate mathematical models and methods for calculating their stress-strain state under various operating conditions. Here is a statement of the boundary value problem of axisymmetric deformation of an elastic three-layer circular plate on a complex basis of the Pasternak model, which allows to take into account the influence of the shear properties of the base material on the stress-strain state of the structure under study. To describe kinematics of asymmetrical on the thickness of the plate pack the hypothesis of a fractured line is adopted. In thin load bearing layers the hypotheses of Kirchhoff are true. In the incompressible lightweight filler, Tymoshenko's hypothesis with a linear approximation of displacements along the layer thickness is fulfilled. The contour assumes the presence of a rigid diaphragm that prevents the relative displacement of the layers. The system of differential equations of equilibrium is obtained by the variational method. The work of tangential stresses in the filler was not taken into account. Three types of boundary conditions are formulated. The solution of the boundary value problem is reduced to finding three required functions – plate deflection, relative shear and radial displacement in the filler. The general analytical solution of the boundary value problem in Bessel functions is obtained. The influence of shear properties of the base on the stress-strain state of the plate at different compression ratios is studied numerically. The calculated values of displacements and stresses obtained using Pasternak and Winkler models are compared. It is shown that taking into account the shear properties of the base material leads to a decrease in the calculated parameters.

Keywords: three-layer circular plate, axisymmetric bending, Pasternak foundation, stress state.

REFERENCES

1. Bolotin V.V., Novichkov Iu.N. *Mekhanika mnogosloynnykh konstruktiv* [Mechanics of laminated constructions]. Moskva: Mashinostroyeniye, 1980, 375 p. (in Russian).
2. Solomonov Iu.S., Georgievskii V.P., Nedbai A.Ia., Andriushin V.A. *Prikladnye zadachi mekhaniki kompozitnykh tsilindricheskikh obolochek* [Applied problems of mechanics of composite cylindrical shells]. Moskva: FIZMATLIT, 2014, 408 p. (in Russian).
3. Golovko K.G., Lugovoi P.Z., Meish V.F. *Dinamika neodnorodnykh obolochek pri nestatsionarnykh nagruzkakh* [The dynamics of inhomogeneous shells under nonstationary loads]. Kiev: Kievskii un-t, 2012, 541 p. (in Russian).
4. Starovoitov E.I., Yarovaya A.V., Leonenko D.V. *Deformirovaniye trekhslonnykh elementov konstruktiv na uprugom osnovanii* [Deformation of three-layer construction elements on the elastic foundation]. Moskva: FIZMATLIT, 2006, 380 p. (in Russian).
5. Ivañez I., Moure M.M., Garcia-Castillo S.K., Sanchez-Saez S. *The oblique impact response of composite sandwich plates. Composite Structures*, 2015, no. 133, pp.1127-1136.
6. Grover N., Singh B.N., Maiti D.K. *An inverse trigonometric shear deformation theory for supersonic flutter characteristics of multilayered composite plates. Aerospace Science and Technology*, 2016, no. 52, pp.41-51.
7. Škec L., Jelenić G. *Analysis of a geometrically exact multi-layer beam with a rigid interlayer connection. Acta Mechanica*, 2014, vol.225, no. 2, pp.523-541.
8. Kuznetsova E.L., Tarlovskii D.V., Fedotenkov G.V. *Propagation of Unsteady Waves in an Elastic Layer. Mechanics of Solids*, 2011, vol.46, no. 5, pp.789-787.
9. Fedotenkov G.V., Tarlovskiy D.V. *Analytic investigation of features of stresses in plane nonstationary contact problems with moving boundaries. Journal of Mathematical Sciences*, 2009, vol.162, no. 2, pp.246-253.
10. Pasternak P.L. *Osnovy novogo metoda rascheta fundamentov na uprugom osnovanii pri pomoshchi dvukh koeffitsientov posteli* [Fundamentals of a New Method of Elastic Foundation Analysis by Means of Two-constants]. Moskva: Gos. Izd. Literatury po stroitelstvu i arkhitekture, 1954, 55 p. (in Russian).
11. Vlasov V.Z., Leont'ev N.N. *Balki, plity, obolochki na uprugom osnovanii*. [Beams, plates, shells on the elastic foundation] – Moskva: Gos. izd-vo fiz.-mat. lit-ry, 1960, 491 p. (in Russian).
12. Kamke E. *Spravochnik po obyknovennym differentsial'nym uravneniyam* [Handbook of ordinary differential equations]. Moskva: Nauka, 1976, 576 p. (in Russian).
13. Starovoitov É.I. *Description of the thermomechanical properties of some structural materials. Strength of materials*, 1988, vol.20, no. 4, pp.426-431.

УДК 004.8:004.94

Шелудько А.О., Коротка Л.І.

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДСИСТЕМА ФОРМАЛІЗАЦІЇ НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ У ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

Об'єктом розгляду роботи є моделювання деяких соціальних та інвестиційних процесів в умовах невизначеності. У роботі спроектовано та створено інформаційну підсистему для формалізації нечіткої інформації у деяких прикладних задачах, зокрема, розглядаються дві задачі: інвестування та розповсюдження епідемії. Розробка та реалізація інвестиційних проектів є вирішальними умовами соціального і економічного розвитку підприємств і зайнятості населення. Особливої уваги потребує вивчення інвестиційних стратегій в соціально значущих галузях регіональної економіки. Моделювання та прогнозування різного роду соціальних процесів є другою підзадачею роботи. Незважаючи на те, що наведені задачі є не пов'язаними між собою, але їх загальна особливість полягає у неповній вхідній інформації. У контексті постановки першої задачі: застосування методу чистої поточної вартості (дисконтованого доходу) обумовлено його перевагами в порівнянні з іншими методами оцінювання ефективності проектів, які будуються на використанні періоду відшкодування витрат або річної норми надходжень, оскільки він враховує весь термін функціонування проекту і графік потоку грошових коштів. Метод має достатню стійкість при різних комбінаціях вихідних умов, дозволяючи знаходити економічно раціональне рішення та отримувати найбільш узагальнену характеристику результату інвестування. Особливо це має вагоме значення, коли вхідні дані є нечіткими або інтервальними величинами. Для другої задачі: моделювання процесів соціального характеру, зокрема, розповсюдження епідемій повинно надавати можливість прогнозування ситуацій та їх подальшого розвитку. Для формалізації нечіткої вхідної інформації цієї задачі запропоновано застосувати інтервальні та двосторонні чисельні методи. У створеній інформаційній системі реалізована можливість роботи як з чіткими, так і з нечіткими вхідними величинами. В результаті виконання роботи було: зроблено огляд та аналіз існуючих методів і засобів вирішення поставлених задач; запропоновано для формалізації нечіткої вхідної інформації використовувати два підходи: математичний апарат теорії нечітких множин та інтервального аналізу; виконано імітаційне моделювання задач інвестування та розповсюдження епідемії; реалізовано чисельні експерименти у чіткій і нечіткій постановках; зроблено аналіз отриманих результатів чисельних експериментів.

Ключові слова: моделювання, чисельні методи інтервального аналізу, теорія нечітких множин, інвестиції, розповсюдження епідемії.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-81-88

Постановка проблеми

У роботі запропоновано розглядати дві задачі, які не є пов'язаними між собою, але їх особливістю є те, що вхідні змінні носять нечіткий характер. Для формалізації нечіткої вхідної інформації для цих задач запропоновано використовувати математичний апарат теорії нечітких

множин та інтервального аналізу.

Інвестиційна діяльність тою чи іншою мірою властива будь-якому підприємству. Вона являє собою один з найбільш важливих аспектів функціонування будь-якої комерційної організації. Причинами, що зумовлюють необхідність інвестицій, є відновлення наявної матеріально-

технічної бази, нарощування обсягів виробництва, освоєння нових видів діяльності. Тема інвестування є достатньо актуальною у будь-якому регіоні, тому автори вважають доцільним створення інформаційної підсистеми, яка б дозволяла моделювати процес інвестування як з чіткими, так і з нечіткими вхідними даними.

Принципи моделювання соціальних і епідеміологічних процесів істотно відрізняються від моделювання в природничих науках. Тут немає твердо встановлених експериментом і практикою залежностей, які завжди залишаються справедливими та не змінюються. При побудові моделей таких процесів необхідно враховувати початкову неточність завдання всіх даних, відсутність чіткого математичного опису змінних і параметрів, використовуваних при моделюванні [1]. Важливо розуміти можливість відхилення статистичних даних від їх реальних значень. Тому створення інформаційної підсистеми для моделювання таких процесів (особливо в умовах невизначеності) є важливим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел та останніх досліджень надає можливість авторам стверджувати, що вказані прикладні задачі розв'язувались, як правило, з чіткими вхідними даними [2,3]. У роботі [3] розглянуто можливість розв'язку першої задачі з нечіткими даними з використанням елементів теорії нечітких множин. Слід зауважити, що створенню інформаційних систем, які б реалізовували вказані задачі з використанням інтервального аналізу та теорії нечітких множин у сучасних роботах не приділено достатньої уваги.

Застосування методу чистої поточної вартості (дисконтованого доходу) обумовлено його перевагами в порівнянні з іншими методами оцінки ефективності проектів, які будуються на використанні періоду відшкодування витрат або річної норми надходжень, оскільки він враховує весь термін функціонування проекту і графік потоку грошових коштів [2]. Метод має достатню стійкість при різних комбінаціях вихідних умов, дозволяючи знаходити економічно раціональне рішення і отримувати найбільш узагальнену характеристику результату інвестування [3].

Для моделювання поширення епідемій з'явився новий підхід, який використовує марківські випадкові процеси. Він дозволяє природним чином врахувати випадковий характер і оцінити відповідні параметри досліджуваного явища. За рахунок введення таких характеристик, як інтенсивності переходів між стадіями захворювання, з'являється можливість аналізу-

вати причини тих чи інших змін в ході захворювання. Ступінь відповідності прогнозу і спостережень оцінюється за статистичним критерієм Пірсона [4].

Авторами пропонується спроектувати та розробити інформаційну систему, яка дозволяє виконувати імітаційне моделювання для певного інвестиційного проекту та розповсюдження епідемії, працюючи з нечіткою інформацією.

Формулювання мети дослідження

Як вже зазначалося вище, у роботі для моделювання інвестиційних і соціально-епідеміологічних процесів розглядається дві не пов'язані між собою задачі: інвестування (статична система) та розповсюдження епідемії (динамічна система). Для формалізації нечіткої інформації вхідних змінних пропонується використовувати математичні апарати інтервального аналізу (ІА) та теорії нечітких множин (ТНМ). Необхідно спроектувати, розробити та реалізувати інформаційну систему, яка дозволяє проводити імітаційне моделювання при неповній вхідній інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Постановка першої задачі інвестування: інвестиційний проект триває N років з певними інвестиціями для кожного року. Отримання прибутку від проекту починається відразу ж після закінчення проекту і закінчується через N років. Ставка дисконтованого відсотка залишається сталою протягом всього інвестиційного циклу. Інвестиції, прибуток і ставка дисконтованого відсотка є невизначеними параметрами, заданими нечіткими інтервалами. Знайти чисту наведену вартість всіх грошових потоків, пов'язаних з цим проектом.

Математичну модель задачі інвестування можна надати наступним чином:

$$NPV = \sum_{t=t_n}^T \frac{P_t}{(1+d)^t} - \sum_{t=0}^{t_c} \frac{KV_t}{(1+d)^t}, \quad (1)$$

де T – час реалізації інвестиційного проекту, роки; t_n – рік початку виробництва продукції, роки; d – норма дисконтування, %; P_t – чистий потік платежів (доходів) у році t , грн; t_c – рік закінчення робіт по проекту, роки; KV_t – інвестиційні витрати (капітальні вкладення) в році t , грн [3].

Дана система є статичною з нечіткими вхідними даними, тобто (1) є нечіткою математичною моделлю першої задачі.

Людство постійно стикається з раніше не-

відомими епідеміями, тому необхідні нові методи для зменшення темпів їх поширення. При моделюванні поширення епідемій можна використовувати кілька підходів: клітинні автомати, диференціальні рівняння, імітаційне моделювання тощо. Вони дозволяють досліджувати динаміку процесу розповсюдження, а також залежність тривалості епідемії, кількості перехворілих особин та інших показників від параметрів моделювання.

Розглянуті моделі недостатньо відображали імовірнісний характер поширення інфекції: в диференціальних моделях це явище представлялося як детермінований процес, а в клітинних автоматах випадковість зараження особин при контактах враховувалася за допомогою найпростішого вибору заражених сусідів методом Монте-Карло. Підсумкові імовірнісні характеристики поширення захворювання при цьому не розраховувалися.

Для імітаційного моделювання розповсюдження епідемії достатньо часто використовують універсальне середовище GPSS World. Процес розвитку епідемії надають у вигляді системи двох (або трьох) диференціальних рівнянь. Розв'язання системи відбувається за допомогою методу Рунге-Кутти-Фольберга [5]. Результати моделювання надаються у вигляді графіка для моделі розповсюдження епідемії. Але слід зазначити, що для роботи з цим середовищем користувач повинен вміти програмувати в середовищі, зокрема знати мову програмування PLUS.

Альтернативою середовищу GPSS World для моделювання розповсюдження епідемії можна вважати систему Matlab. Процес розповсюдження задається диференціальним рівнянням із запізнюючим аргументом. Найпростіший метод для вирішення такої задачі є метод послідовного інтегрування. Зазначений підхід до вирішення диференціальних рівнянь дозволяє покроково простежити сам хід розв'язання та оперативно вносити зміни на кожному кроці. Зазвичай, такий метод добре працює тільки при великих запізненнях і при невеликому числі кроків, так накопичення похибок при чисельному розв'язанні диференціальних рівнянь і апроксимації його розв'язку на кожному кроці призведе до великих відхилень від точного.

Зауважимо, що ні середовище імітаційного моделювання GPSS World, ні система Matlab не надає можливості працювати з нечіткою інформацією.

Постановка задачі розповсюдження епідемії: припустимо, що в одному з мікрорайонів

міста виникла епідемія і з'явилися інфекційні хворі. Для мікрорайону існує характерний приріст хворих людей. Припускалось, що приріст хворих за день пропорційний добутку числа здорових (ще не перехворілих та не маючих імунітету) на число хворих людей, тобто коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт розповсюдження епідемії). Коефіцієнт включає різного роду профілактичні заходи, прийняті під час епідемії. Необхідно визначити, як розвивається епідемія і яке буде число хворих через певний період часу.

Процес розповсюдження епідемії наданий системою диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x \cdot (K \cdot y - 1); \\ \frac{dy}{dt} = -K \cdot y \cdot x, \end{cases} \quad (2)$$

де x — кількість хворих людей на даний момент часу; y — кількість здорових людей на даний момент часу; K — швидкість розповсюдження епідемії.

Слід зауважити, що дана система є динамічною з нечіткими вхідними даними, тобто (2) є нечіткою математичною моделлю другої задачі.

Як зазначалося раніше, для формалізації нечіткої вхідної інформації в роботі запропоновано застосувати два підходи, а саме: класичну [6] інтервальну арифметику та α -рівневий принцип узагальнення.

Основним інструментом інтервального аналізу є так звані інтервальні арифметики — алгебри, що формалізують арифметичні операції над інтервалами як цілісними об'єктами. Характеристичною особливістю інтервального аналізу є розгляд множин невизначеності як самостійних цілісних об'єктів, за допомогою встановлення арифметичних, аналітичних операцій і відношень між ними [7].

У роботі без обмежень дослідження використано класичні трикутну та трапецієвидну функції належності зі зміщеними ядрами. Параметри цих функцій задаються користувачем та зберігаються у сховищі даних. У нашому випадку для визначеності кожна з цих функцій задана на множині $X=[0,10]$, в якості якого обраний замкнутий інтервал дійсних чисел (рис. 1, рис. 2). Ці функції використовуються для того, щоб завдати такі властивості множин, які характеризують невизначеність типу: «приблизно

дорівнює», «середнє значення», «розташований в інтервалі», «подібний до об'єкта», «схожий на предмет» та ін.

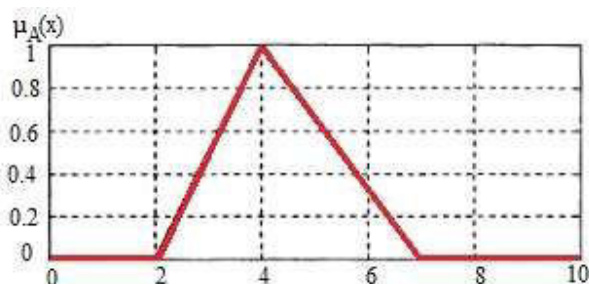


Рис. 1. Графік функції належності трикутної форми зі зміщеним ядром

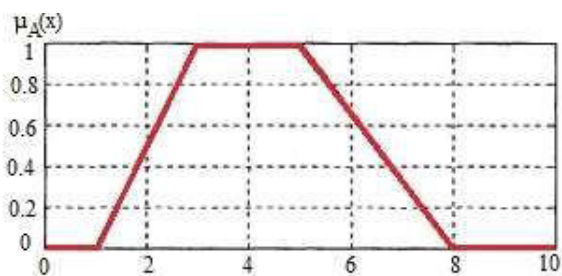


Рис. 2. Графік функції належності трапецієвидної форми зі зміщеним ядром

Як відомо, трикутна функція належності в загальному випадку може бути задана аналітично наступним виразом:

$$f_{\Delta}(x; a; b; c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}, \quad (3)$$

де a, b, c — деякі числові параметри, які приймають довільні дійсні значення і впорядковані відношенням $a \leq b \leq c$.

Трапецієвидна функція належності в загальному випадку може бути задана аналітично наступним виразом:

$$f_T(x; a; b; c; d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 0, & d \leq x \end{cases}, \quad (4)$$

де a, b, c, d — деякі числові параметри, які приймають довільні дійсні значення і впорядковані відношенням $a \leq b \leq c \leq d$.

При використанні теорії нечітких множин є можливість отримання чіткого (тобто дефазифікованого) значення розв'язку, у роботі без обмежень суджень використано центроїдний метод, який є достатньо нескладним у програмній реалізації.

Результатом роботи є спроектована інформаційна підсистема, яка дозволяє:

- отримувати дані інвестиційного проекту до десяти років (для статичної системи). Вибір того чи іншого описаного підходу залежить від особи, що приймає рішення. Зауважимо, що чисельні результати, які отримано за допомогою цих підходів практично збігаються, але при використанні нечітких множин є можливість отримати степінь впевненості експерта (тобто значення функції належності);

- проводити імітаційне моделювання процесу розповсюдження епідемії (тобто динамічна система), розраховувати кількість хворих через заданий термін спостереження.

Далі буде наведено результати роботи створеної інформаційної підсистеми, наприклад, форма введення інтервальних даних представлено на рис. 3 для першої задачі.

На рис. 4 зображено результат роботи програми у вигляді трапецієвидної функції належності. Також відображається дефазифіковане значення чистої наведеної вартості всіх грошових потоків, пов'язаних з інвестиційним проектом.

На рис. 5 продемонстрована форма для введення інтервальних даних та виведення розрахованої чистої наведеної вартості за допомогою математичного апарату інтервального аналізу.

Рис. 3. Форма для введения данных



Рис. 4. Результат, відображений за допомогою трапецієвидного вигляду функції належності

Рис. 5. Форма для введения интервальных данных та відображення результату за допомогою ІА

У табл. 1 наведено розв'язок задачі з використанням ТНМ та ІА.

Аналіз результатів чисельного експерименту дозволяє зробити висновки, що запропонований підхід для формалізації неповної вхідної інформації із використанням математичного апарату інтервального аналізу та теорії нечітких множин можна застосовувати для розв'язання задач такого класу. На тестовій задачі отримані

чисельні результати дають достатньоно непоганий збіг результатів.

Проведемо імітаційне моделювання розповсюдження епідемії. Введення параметрів моделі другої задачі відображає форму, яка представлена на рис. 6. Необхідно задати термін спостереження, кількість хворих та здорових людей і вказати коефіцієнт швидкості розповсюдження епідемії.

Таблиця 1

Результати чисельних експериментів для першої задачі

Вхідні дані		Результати моделювання			
		Чиста наведена вартість всіх грошових потоків, ум. од.			
Інвестиції кожного року, KV_i	$KV_0=\{2; 2,8; 3,5; 4\};$ $KV_1=\{0; 0,88; 1,50; 2\};$ $KV_2=\{0; 0; 0; 0\};$ $KV_3=\{0; 0; 0; 0\}.$	Застосування ІА	Застосування ТНМ		
			Носій нечіткої множини	Дефазифіковане значення вартості, ум од	Значення функції належності
Отриманий прибуток кожного року, P_i	$P_0=\{0; 0; 0; 0\};$ $P_1=\{0; 0; 0; 0\};$ $P_2=\{6,5; 7,5; 8,0; 8,5\};$ $P_3=\{5,5; 6,5; 7,0; 7,5\}.$				
Нечітке інтервальне значення дисконту, d	$d=\{0,08; 0,13; 0,22; 0,35\}$	$[5,49; 8,57]$	$[5,487; 8,573]$	7,55	1,0

Параметры модели

Время наблюдения дней

Количество больных, X

Количество здоровых, Y

Скорость распространения, K

Рис. 6. Форма для завдання параметрів динамічної моделі

На рис. 7 надано графік моделі розповсюдження епідемії при заданих параметрах (рис. 6). В правому верхньому куті вказано кількість хворих через заданий термін спостереження. За допомогою кнопок можливо подивитися кожний із побудованих графіків окремо. Можна відобразити графік нижньої та верхньої границь епідемії. Також можливе відображення динаміки розвитку та динаміки згасання епідемії.

Зауважимо, що у роботі реалізована можливість розв'язання цієї задачі у чіткій постановці, тоб то з точними вхідними даними. Для отримання результатів чисельного інтегрування застосовано класичні методи Рунге-Кутти, у тому



Рис. 7. Графік динаміки розповсюдження епідемії

Таблиця 2

Результати чисельних експериментів для другої задачі

Результати розв'язання задачі у чіткій постановці	Результати розв'язання задачі у нечіткій постановці
Пік епідемії на третій день	Пік епідемії на другий-п'ятий день
Максимальна кількість хворих на третій день: 25000 людей	Максимальна кількість хворих: від 25000 до 60000 людей

числі метод Ейлера. При розв'язанні задачі у нечіткій постановці використано двосторонні інтервальні чисельні методи.

Табл. 2 відображає результати розв'язання задачі у чіткій і нечіткій постановці.

Отримані результати чисельних експериментів у чіткій і нечіткій постановках дозволяють авторам стверджувати, що використання нечітких даних можливе для вирішення задач такого класу.

Висновки

У роботі запропоновано застосування двох підходів для формалізації нечіткої вхідної інформації: математичного апарату теорії нечітких множин та інтервального аналізу. Виконано проектування інформаційної підсистеми. Проведено імітаційне моделювання двох класів задач: інвестування та розповсюдження епідемії. Отримано результати у чіткій і нечіткій постановках та зроблено аналіз щодо результатів чисельних експериментів. Застосування запропонованих підходів формалізації неповної вхідної інформації є цілком доцільним для розв'язання прикладних задач.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 320 с.
2. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 144 с.
3. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология: монография. — М.: «Издательство Машиностроение — 1», 2004. — 397 с.
4. Voinov V., Alloyarova R., Pya N. A modified chi-squared goodness-of-fit test for the three-parameter Weibull distribution and its applications in reliability // Mathematical Methods for Reliability, Survival Analysis and Quality of Life. — London: Hermes. — 2007. — P.193-206.
5. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. — М.: Бестселлер, 2003. — 416 с.
6. Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И. Технологии вычисли-

тельного интеллекта в задачах моделирования динамических систем: монография. — Днепр: Баланс-Клуб, 2018. — 178 с.

7. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. — Новосибирск: Издательство «XYZ», 2018. — 597 с.

Надійшла до редакції 24.10.2018

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДСИСТЕМА ФОРМАЛИЗАЦИИ НЕЧЁТКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ

Шелудько А.А., Короткая Л.И.

Объектом рассмотрения работы является моделирование некоторых социальных и инвестиционных процессов в условиях неопределённости. В работе спроектировано и создано информационную подсистему для формализации нечёткой информации в некоторых прикладных задачах, в частности, рассматриваются две задачи: инвестирование и распространение эпидемии. Разработка и реализация инвестиционных проектов являются решающими условиями социального и экономического развития предприятий и занятости населения. Особого внимания требует изучение инвестиционных стратегий в социально значимых отраслях региональной экономики. Моделирование и прогнозирование разного рода социальных процессов является второй подзадачей работы. Несмотря на то, что приведённые задачи являются не связанными между собой, но их общая особенность заключается в неполной входящей информации. В контексте постановки первой задачи: применение метода чистой текущей стоимости (дисконтированного дохода) обусловлено его преимуществами по сравнению с другими методами оценки эффективности проектов, которые строятся на использовании периода возмещения расходов или годовой нормы поступлений, поскольку он учитывает весь срок функционирования проекта и график потока денежных средств. Метод обладает достаточной устойчивостью при разных комбинациях исходных условий, позволяя находить экономически рациональное решение и получать наиболее обобщённую характеристику результата инвестирования. Особенно это имеет большое значение, когда входные данные являются нечёткими или интервальными величинами. Для второй задачи: моделирование процессов социального характера, в частности, распространения эпидемий, должно предоставлять возможность прогнозирования ситуаций и их дальнейшего развития. Для формализации нечёткой исходной информации этой задачи предложено применить интервальные и двусторонние численные методы. В созданной информационной системе реализована возможность работы как с чёткими, так и с нечёткими входными величинами. В результате выполнения работы было: сделано обзор и анализ существующих методов и средств решения поставленных задач; предложено для формализации нечёткой исходной информации использовать два подхода: математический аппарат теории нечётких множеств и интервального анализа; проведено имитационное моделирование задач инвестирования и распространения эпидемии; реализовано многочисленные эксперименты в чёткой и нечёткой постановках; сделан анализ полученных результатов численных экспе-

риментов.

Ключевые слова: моделирование, численные методы интервального анализа, теория нечётких множеств, инвестиции, распространение эпидемии.

INFORMATION SUBSYSTEM OF FORMALIZATION OF FUZZY INFORMATION IN APPLIED PROBLEMS

Sheludko A.A., Korotka L.I.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The object of consideration of the work is the modeling of some social and investment processes in conditions of uncertainty. Authors designed and created an information subsystem for the formalization of fuzzy information in some applied problems, in particular, two problems are considered: investment and the spread of the epidemic. The development and implementation of investment projects are crucial conditions for the social and economic development of enterprises and employment. Special attention should be paid to the study of investment strategies in socially significant sectors of the regional economy. Modeling and forecasting various kinds of social processes is the second subtask of work. Despite the fact that the tasks are not related to each other, their common feature is incomplete input information. In the context of the first task: the use of the net present value method (discounted income) is due to its advantages over other methods of evaluating the effectiveness of projects that are based on the use of a reimbursement period or annual rate of income, since it takes into account the entire life of a project and the cash flow means. The method has sufficient stability under different combinations of initial conditions, allowing one to find an economically rational solution and obtain the most generalized characteristic of the investment result. This is especially important when the input data is fuzzy or interval values. For the second task: the modeling of social processes, in particular, the spread of epidemics, should provide the ability to predict situations and their further development. To formalize the fuzzy initial information of this problem, it is proposed to apply interval and two-sided numerical methods. The created information system implements the ability to work with both clear and fuzzy input values. As a result of the work done, a review and analysis of existing methods and means of solving the set tasks was made; it was proposed to use two approaches to formalize fuzzy source information: the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets and interval analysis; simulation modeling of the investment and the spread of the epidemic was implemented; numerous experiments in clear and fuzzy settings were implemented; the analysis of the results of numerical experiments is made.

Keywords: modeling, numerical methods for interval analysis, the theory of fuzzy sets, investment, the spread of the epidemic.

REFERENCES

1. Kudryavtsev E.M. GPSS World. *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya razlichnykh sistem* [GPSS World. Basics of simulation of various systems]. Moskva: DMK Press, 2004, 320 p. (in Russian).
2. Kovalev V.V. *Metody otsenki investitsionnykh projektov* [Methods for evaluating investment projects]. Moskva: Finansy i statistika, 2008, 144 p. (in Russian).
3. Diligenskiy N.V. *Nechetkoe modelirovanie i mnogokriterial'naya optimizatsiya proizvodstvennykh sistem v usloviyakh neopredelennosti: tekhnologiya, ekonomika, ekologiya: monograf.* [Fuzzy modeling and multi-criteria optimization of production systems in conditions of uncertainty: technology, economics, ecology: monograph]. Moskva: «Izdatel'stvo Mashinostroenie – 1», 2004, 397 p. (in Russian).
4. Voinov V., Allozarova R., Pya N. A modified chi-squared goodness-of-fit test for the three-parameter Weibull distribution and its applications in reliability. *Mathematical Methods for Reliability, Survival Analysis and Quality of Life*. London: Hermes, 2007, pp.193-206.
5. Tomashevskiy V. *Imitatsionnoe modelirovanie v srede GPSS* [Simulation modeling in the environment of GPSS]. Moskva: Bestseller, 2003, 416 p. (in Russian).
6. Zelentsov D.G., Korotkaya L.I. *Tekhnologii vychislitel'nogo intellekta v zadachakh modelirovaniya dinamicheskikh sistem: monografiya* [Technologies of computational intelligence in modeling problems of dynamic system]. Dnepro: Balans-Klub, 2018, 178 p. (in Russian).
7. Sharyy S.P. *Konechnomernyy interval'nyy analiz* [Finite Interval Analysis]. Novosybyrsk: Izdatel'stvo «XYZ», 2018, 597 p. (in Russian).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БАХТІН Валерій Іванович – к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри тепло- та гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії (м. Запоріжжя, Україна)

БЄЛЯНОВСЬКА Олена Анатоліївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри енергетики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

БІЛОБРОВА Юлія Олегівна – студентка кафедри транспортних систем та технологій Університету митної справи та фінансів (м. Дніпро, Україна)

ВЕНЄДІКТОВ Денис Владиславович – студент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ВИШИНСЬКИЙ Валерій Трохимович – к.т.н., доцент кафедри деталі машин Національної металургійної академії України (м. Дніпро, Україна)

ГУБИНСЬКИЙ Михайло Володимирович – д.т.н., професор, завідувач кафедри промислової теплоенергетики Національної металургійної академії (м. Дніпро, Україна)

ДУБНИЦЬКИЙ Володимир Іванович – д.е.н., професор, академік Академії економічних наук України, професор кафедри теоретичної та прикладної економіки ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ЗЕЛЕНЦОВ Дмитро Гегемонович – д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

КОДОЛА Галина Миколаївна – викладач кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

КОЗЕЛ Анастасія Григорівна – аспірантка кафедри будівельної механіки Білоруського державного університету транспорту (м. Гомель, Білорусь)

КОРОТКА Лариса Іванівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

КУШНАРЕНКО Олексій Павлович – провідний спеціаліст ПАТ «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя, Україна)

ЛИТОВЧЕНКО Роман Дмитрович – аспірант кафедри переробки пластмас та фото-, нано- і поліграфічних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ЛЯШЕНКО Оксана Анатоліївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

МУХІН Вадим Євгенійович – д.т.н., професор, професор кафедри математичних методів системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут Ігоря Сікорського» (м. Київ, Україна)

НАЗАРЕНКО Ірина Анатоліївна – к.т.н., доцент кафедри тепло- та гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії (м. Запоріжжя, Україна)

НАЗАРЕНКО Олексій Миколайович – к.т.н., доцент кафедри тепло- та гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії (м. Запоріжжя, Україна)

НАУМЕНКО Наталія Юріївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри теоретичної та прикладної економіки ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ОЛЕВСЬКА Юлія Борисівна – к.ф.-м.н., доцент кафедри вищої математики НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро, Україна)

ОЛЕВСЬКИЙ Віктор Ісаакович – д.т.н., завідувач кафедри вищої математики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ПАЧА Сергій Владиславович – заступник директора промислової групи «Технологія» (м. Запоріжжя, Україна)

ПОБЕРЕЖНІЧЕНКО Володимир Юрійович – аспірант кафедри математичних методів системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут Ігоря Сікорського» (м. Київ, Україна)

РАХМАНОВ Сулейман Рахманович – к.т.н., доцент, доцент кафедри теоретичної механіки та опору матеріалів Національної металургійної академії України (м. Дніпро, Україна)

СТАРОВОЙТОВ Едуард Іванович – д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри будівельної механіки Білоруського державного університету транспорту (м. Гомель, Білорусь)

СУХИЙ Костянтин Михайлович – д.т.н., професор, декан факультету технології органічних речовин ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

СУХИЙ Михайло Порфирович – к.т.н., професор, завідувач кафедри енергетики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ШЕЛУДЬКО Аліна Олександрівна – студентка кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ШУЛАК В'ячеслав Олександрович – студент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК		ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ		NAME INDEX	
БАХТІН В.І.	54	БАХТИН В.И.	54	BAKHTIN V.I.	54
БЕЛЯНОВСЬКА О.А.	3	БЕЛОБРОВА Ю.О.	9	BELIANOVSKAYA E.A.	3
БІЛОБРОВА Ю.О.	9	БЕЛЯНОВСКАЯ Е.А.	3	BILOBROVA Y.O.	9
ВЕНЕДІКТОВ Д.В.	27	ВЕНЕДИКТОВ Д.В.	27	DUBNITSKY V.I.	9
ВИШИНСЬКИЙ В.Т.	65	ВЫШИНСКИЙ В.Т.	65	GUBINSKYI M.V.	3
ГУБИНСЬКИЙ М.В.	3	ГУБИНСКИЙ М.В.	3	KODOLA G.N.	27
ДУБНИЦЬКИЙ В.І.	9	ДУБНИЦКИЙ В.И.	9	KOROTKA L.I.	81
ЗЕЛЕНЦОВ Д.Г.	18	ЗЕЛЕНЦОВ Д.Г.	18	KOZEL A.G.	73
КОДОЛА Г.М.	27	КОДОЛА Г.Н.	27	KUSHNARENKO O.P.	54
КОЗЕЛ А.Г.	73	КОЗЕЛ А.Г.	73	LIASHENKO O.A.	34
КОРОТКА Л.І.	81	КОРОТКАЯ Л.И.	81	LYTOVCHENKO R.D.	3
КУШНАРЕНКО О.П.	54	КУШНАРЕНКО А.П.	54	MUKHIN V.Ye.	45
ЛИТОВЧЕНКО Р.Д.	3	ЛИТОВЧЕНКО Р.Д.	3	NAUMENKO N.Yu.	9
ЛЯШЕНКО О.А.	34	ЛЯШЕНКО О.А.	34	NAZARENKO I.A.	54
МУХІН В.Є.	45	МУХИН В.Е.	45	NAZARENKO O.M.	54
НАЗАРЕНКО І.А.	54	НАЗАРЕНКО А.Н.	54	OLEVSKAYA Yu.B.	60
НАЗАРЕНКО О.М.	54	НАЗАРЕНКО И.А.	54	OLEVSKY V.I.	60
НАУМЕНКО Н.Ю.	9	НАУМЕНКО Н.Ю.	9	PACHA S.V.	65
ОЛЕВСЬКА Ю.Б.	60	ОЛЕВСКАЯ Ю.Б.	60	POBEREZHNIChENKO V.Yu.	45
ОЛЕВСЬКИЙ В.І.	60	ОЛЕВСКИЙ В.И.	60	RAHMANOV S.R.	65
ПАЧА С.В.	65	ПАЧА С.В.	65	STAROVOITOV E.I.	73
ПОБЕРЕЖНІЧЕНКО В.Ю.	45	ПОБЕРЕЖНИЧЕНКО В.Ю.	45	SHELUDKO A.A.	81
РАХМАНОВ С.Р.	65	РАХМАНОВ С.Р.	65	SHULAK V.O.	34
СТАРОВОЙТОВ Е.І.	73	СТАРОВОЙТОВ Э.И.	73	SUKHYY K.M.	3
СУХИЙ К.М.	3	СУХОЙ К.М.	3	SUKHYY M.P.	3
СУХИЙ М.П.	3	СУХОЙ М.П.	3	VENIEDIKTOV D.V.	27
ШЕЛУДЬКО А.О.	81	ШЕЛЬДЬКО А.А.	81	VYSHYNSKYI V.T.	65
ШУЛАК В.О.	34	ШУЛАК В.А.	34	ZELENTSOV D.G.	18