

Д.Г. Шерстюк, А.В. Кулик, А.М. Май

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЕЧАЕК
В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО КАЛИБРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕКРУГЛОСТИ**

Аннотация. Исходя из жестких требований к геометрической точности (крупногабаритных тонкостенных сварных конструкций) обечаек, возникает необходимость введения строгих требований точности в технологический процесс термомеханического реализуя системное моделирование технологического процесса на основе аналитического расчета некруглости, с помощью комбинации существующих методик в государственных и отраслевых стандартах.

Локальные искажения формы приводят к нежелательной деформации вафельного фона оболочек и образованию очагов остаточных напряжений.

Ключевые слова: термомеханическое калибрование, некруглость, обечайки, аналитический расчет.

Постановка проблемы. Определение ключевых параметров и системное моделирование технологического процесса на основе существующих методик аналитического расчета локальной и общей некруглости (крупногабаритных тонкостенных сварных конструкций) обечаек в процессе термомеханического калибрования.

Анализ основных исследований и публикаций. Одними из важнейших характеристик ракетно-космической техники являются их надежность и высокое качество. К таким изделиям с повышенными требованиями точности относятся тонкостенные сварные крупногабаритные конструкции (обечайки) головного аэродинамического обтекателя РН "Циклон-4".

Для обеспечения установленных параметров точности 2-3 мм при диаметре 4000 мм для данных обечаек используется одна из разновидностей термомеханической обработки – термомеханическое калибрование (ТМК) в жестких оправках при температурах максималь-

ной пластичности материала изделия. В нескольких работах по данному направлению рассматриваются возможные способы обеспечения высокой точности тонкостенных сварных крупногабаритных конструкций. Так, в работе [1] исследовано влияние размеров и ориентации вмятин на напряженно-деформированного состояния (НДС) цилиндрических обечаек.

Требования [2] к поврежденности нефтегазового оборудования (на примере колонных аппаратов и вертикальных цилиндрических резервуаров) в предэксплуатационный период основаны на анализе который показывает, что поврежденность по их поверхности распределяется неравномерно.

В работе [3] проведен анализ и обобщение известных решений в области исследований НДС тонких цилиндрических оболочек с геометрическими несовершенствами формы и разработана методика верификации результатов расчетов НДС котла цистерны основанная на теоремах о равновесии сечений (теоремах Марбека).

Таким образом, из вышеприведенных жестких требований к геометрической точности крупногабаритных обечаек, возникает необходимость введения строгих требований точности в технологический процесс термомеханического калибрования на основе аналитического расчета некруглости с помощью комбинации методик приведенных в государственных и отраслевых стандартах.

Цель исследования. С помощью аналитических формул и первичных условий расчета в существующих стандартах и методических указаниях произвести вычисления показателей напряженно-деформированного состояния обечаек в зависимости от локальной и общей некруглости.

Изложение основного материала. Расчет параметров локальной и общей некруглости в данной работе применяются по отношению к коническим обечайкам, геометрические отклонения которых после предварительной операции сварки приведены в таблице 1.

Две рассматриваемые обечайки имеют схожую конструкцию и отличаются друг от друга только величиной диаметра. Общий вид и расположение контрольных сечений большей из двух обечаек приведен на рис. 1. Установленные конструкторской документации диаметры обечайки Конус №1 составляют – 4061 мм, 3527,2 мм (верхний и нижний диаметры конуса) и 3184 мм, 2313 мм для Конуса №2.

Геометрические параметры обечаек Конус №1 и Конус №2
после проведения сварки полуобечаек [4-5]

Сечения	Конус №1		Конус №2	
	Ø _{верх} ., мм	Ø _{низ} ., мм	Ø _{верх} ., мм	Ø _{низ} ., мм
1-7	4080	3505	3200	2310
2-8	4070	3525	3180	2320
3-9	4085	3535	3180	2310
4-10	4070	3525	3170	2315
5-11	4070	3505	3195	2305
6-12	4070	3500	3190	2305

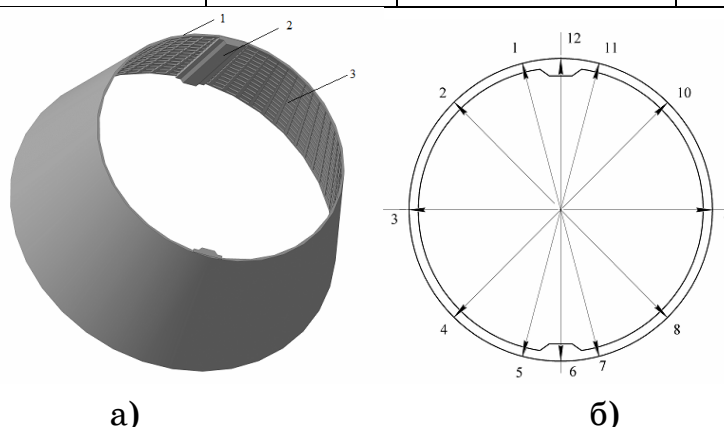


Рисунок 1 – Общий вид конической обечайки с основными конструктивными элементами (1 – торцевой шпангоут, 2 – балка функционального стыка, 3 – вафельный фон)

(а) и расположение контрольных сечений (б)

Условием применения расчетных формул являются соотношения [6]:

$$\frac{S-c}{D} \leq 0,1 \text{ для обечаек при } D \geq 200 \text{ мм;}$$

$$\frac{S-c}{D} \leq 0,3 \text{ для обечаек } D \leq 200 \text{ мм,} \quad (1)$$

где D – диаметр обечайки; S – толщина стенки обечайки; c – отклонения толщины обечайки, принимается равным 1 мм на 10 мм толщины.

Рассматриваемые в данной работе обечайки, при толщине стенки 22 мм, формулы расчетных методик могут быть применимы при показателе $\frac{S-c}{D} = 0,006 - 0,005$.

Обечайки для головного аэродинамического обтекателя РН "Циклон-4" изготавливаются из сплава АМг6, который согласно требованиям [6] имеет допускаемое напряжение $[\sigma] = 40-50$ МПа.

Максимальное напряжение, в соответствии с требованиями [6] – $\varphi = 0,75$ составляет $\sigma_{\max} \leq 110$ МПа.

Наиболее важным параметров, характеризующим взаимосвязь локальной эллиптичности и напряженно-деформированным состоянием, является допускаемое внутреннее давление из условий устойчивости в пределах упругости – $[p]$, которое рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma](s-c)}{D+(s-c)} \times \lambda_1, \quad (2)$$

где φ – коэффициент прочности сварного шва; $[\sigma]$ – величина допускаемого напряжения; D – диаметр обечайки; S – толщина стенки обечайки; c – отклонения толщины обечайки, принимается равным 1 мм на 10 мм толщины.

$$\lambda_1 = \begin{cases} 1 & - \text{при } \frac{\delta}{S} \leq 0,1 \\ \frac{1,105}{\frac{\delta}{S} + \sqrt{\left(\frac{\delta}{S}\right)^2 + 1}} & - \text{при } \frac{\delta}{S} \geq 0,1 \end{cases} \quad (3)$$

где δ – величина локальной эллиптичности.

Величина δ/S для всех измеренных диаметров составляет диапазон 0,0045-0,005. Таким образом, $\lambda_1 = 1$. Результаты расчетов допустимого давления для каждого случая измеренной локальной эллиптичности приведены в таблице 2.

После проведения ТМК, на основании данных в таблице 3 можно сделать вывод, что геометрические отклонения обечайки были частично или полностью устранены, и создали возможность перехода от локальной к общей некруглости. Под общей некруглостью (овальностью) понимается общее отклонение от круговой формы по всему периметру поперечного сечения цилиндрической обечайки.

Таблица 2

Допускаемое давление для обечаек Конус №1 и Конус №2
после проведения сварки полуобечаек

Сечения	Конус №1		Конус №2	
	[p] _{верх. диам., МПа}	[p] _{нижн. диам., МПа}	[p] _{верх. диам., МПа}	[p] _{нижн. диам., МПа}
1-7	0,3658	0,4254	0,4658	0,6436
2-8	0,3666	0,423	0,4686	0,641
3-9	0,3654	0,4218	0,4686	0,6436
4-10	0,3666	0,423	0,4702	0,6422
5-11	0,3666	0,4254	0,4665	0,651
6-12	0,3666	0,426	0,4672	0,651

Таблица 3

Геометрические параметры для обечаек Конус №1 и Конус №2
после проведения термомеханического калибрования (ТМК) [4-5]

Сечения	Конус №1		Конус №2	
	Ø _{верх.} , мм	Ø _{нижн.} , мм	Ø _{верх.} , мм	Ø _{нижн.} , мм
1-7	4061	3510	3190	2313
2-8	4061	3527	3184	2313
3-9	4070	3527	3184	2313
4-10	4061	3527	3184	2313
5-11	4061	3510	3180	2305
6-12	4050	3510	3190	2305

Общую некруглость вычисляют по формуле [7]:

$$a = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\%, \quad (4)$$

где $D_{\max}$, $D_{\min}$ – минимальный и максимальный диаметр обечайки.

$$[p] = \frac{2\phi[\sigma](s - c)}{D + (s - c)} \times \lambda_0, \quad (5)$$

где ϕ – коэффициент прочности сварного шва; $[\sigma]$ – величина допускаемого напряжения; D – диаметр обечайки; S – толщина стенки обечайки; c – отклонения толщины обечайки, принимается равным 1 мм на 10 мм толщины.

$$\begin{cases} 1 & - \text{при } A \leq 1\% \\ \left\{ \left(\frac{D}{200(s-c)} \right) + \sqrt{\left(\frac{D}{200(s-c)} \right)^2 + 1} \right. & \\ \left. \left(\frac{aD}{200(s-c)} \right) + \sqrt{\left(\frac{aD}{200(s-c)} \right)^2 + 1} \right. & - \text{при } 1 \leq A \leq 2\% \end{cases} \quad (6)$$

Величина общей некруглости – а, для всех измеренных диаметров составляет диапазон 0,008-0,01%. Таким образом, $\lambda_0 = 1$.

По данным таблицы 5 можно сделать вывод, что увеличение или уменьшение диаметра обечайки на 1 мм приводит к изменению допускаемого давления на 15%, что важно при конической конструкции обечаек.

Данные выводы также подкрепляются результатами математического моделирования и экспериментальными данными. Нессимметричная эллиптичность в пределах 20 мм при проведении термомеханического калибрования обечаек приводит к искажениям вафельного фона и образованию зон критических остаточных напряжений [8].

Таблица 5

Допускаемое давление обечаек Конус №1 и Конус №2
после проведения сварки полуобечаек

Изделие/ Контрольные параметры	Допускаемое давление		Общая (симметричная) эллиптичность
	[p] _{верх. диам.} , МПа	[p] _{нижн. диам.} , МПа	
Конус №1	0,3675	0,4228	0
	0,3666	0,4215	10
	0,3655	0,42	20
Конус №2	0,4681	0,6429	0
	0,4665	0,6402	10
	0,4652	0,6374	20

Выводы. В работе, с помощью аналитического расчета были получены характерные значения напряженно-деформированного состояния обечаек до и после проведения ТМК.

Так, значение внутреннего допускаемого давления для обечаек 0,36-0,46 МПа (максимальный и минимальный нижний диаметр), изменяясь на 15% при уменьшении или увеличении диаметра на 1 м.

Данные величины могут быть использованы при проведении сертификационных испытаний качества обечаек.

Также было установлено различие значений внутреннего допускаемого давления для локальной и общей некруглости, которое составляет 1-2%, но имеет важное технологическое значение при проведении ТМК обечаек. Подобные строгие требования точности вызваны высокой стоимостью и необходимой высокой надежностью обечаек головного аэродинамического обтекателя РН "Циклон-4", что соответствует общим положениям подобных государственных стандартов и методик расчет в других отраслях промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайнуллин, Р.Х. Безопасная эксплуатация цилиндрических сосудов с дефектами типа "вмятина" на обечайке [Текст]/: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.04 / Зайнуллин Раиль Халилович; Казанский гос. ун-т. – Казань, 2000. – 24 с.
2. ОСТ 24.201.03-90 Сосуды и аппараты стальные высокого давления. Общие технические требования. [Текст]. – Введен впервые; введен 01.07.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 15 с.
3. Архипов, А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния котла цистерны, имеющего геометрические несовершенства [Текст]/: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Архипов Андрей Владимирович; Екатеринбургский гос. ун-т. – Екатеринбург, 2007. – 32 с.
4. Маршрутно-технологический паспорт [Текст]: Корпус 94.7300.1220.0340.00.0, цех №87, сверен и откорректирован с эталоном 25.09.12 – Днепропетровск, ПО ГП "Южмаш" им. А.М.Макарова. – 15 с.
5. Маршрутно-технологический паспорт [Текст]: Корпус 94.7300.1220.0240.00.0, цех №87, сверен и откорректирован с эталоном 07.12.12 – Днепропетровск, ПО ГП "Южмаш" им. А.М.Макарова. – 25 с.
6. ГОСТ 52857.2-2007. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек [Текст]. – Введен впервые; введен 27.12.2007. – М.: Стандартинформ, 2008. – 44 с.
7. ГОСТ 52857.11-2007. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек [Текст]. – Введен впервые; введен 27.12.2007. – М.: Стандартинформ, 2008. – 16 с.
8. Шерстюк Д.Г. Моделирование остаточных напряжений и несимметричной эллиптичности осесимметричных крупногабаритных конструкций в расчетной среде ANSYS / Д.Г. Шерстюк, О.В. Кулик // Сборник научных трудов Sworld. – Том 5. Технические науки. – Одесса: Куприенко СВ. – С.70-75

Б.М. Товт, Л.М. Бондаренко

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ, ЩО ВРАХОВУЄ ТЕРТЯ РЕБОРД КРАНОВИХ КОЛІС

Анотація. У статті проведено дослідження щодо визначення коефіцієнту, який враховує тертя реборд кранових коліс. Показано, що аналітично можна виділити із загальної величини опору від тертя у ходових частинах кранів складову, що приходить на тертя реборд.

Ключові слова: опір, тертя кочення, кранове колесо, рейка, реборда.

Вступ

Тертя кочення – це опір руху, що виникає під час перекочування тіл одне по одному. Тертя кочення з'являється між елементами підшипників кочення, між колесом і рейкою, зокрема між ребордами кранових коліс і підкранових рейок. При дослідженнях опору руху ходових частин крану використовують коефіцієнт тертя кочення, як похідну від напівширини плями контакту [1, 4, 5, 6].

У даній статті буде розглянуто визначення коефіцієнту, який враховує тертя реборд кранових коліс із виразу, який визначає опір тертя у ходових частинах кранів.

Постановка проблеми

Величина опору від тертя у ходових частинах кранів на прямолінійній ділянці колії визначається з виразу [1]:

$$w = \frac{\mu d + 2f}{2R} K_p, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт тертя підшипників, зведений до цапфи колеса, який залежить від типу підшипника;

f – коефіцієнт тертя кочення, який залежить від діаметру ходового колеса;

K_p – коефіцієнт, який враховує тертя реборд і маточини колеса, який залежить від типу приводу, ободу ходового колеса, механізму.

Відмітимо, що для баштових кранів величина w задається безпосередньо в залежності від діаметру ходового колеса і типу підшипників.

Очевидно, що виділити K_p із виразу (1) експериментально складно, оскільки як f , так і μ пов'язані з K_p .

Основна частина дослідження

Для вирішення задачі необхідно провести такі дослідження. Механізм переміщення, який досліджується, закріпимо на похилій поверхні канатом сталої довжини і жорсткості C , масою канату знехтуємо, хоча іноді [2] її додають як третю частину до маси досліджуваного об'єкта.

У подальшому не будемо нехтувати опором від тертя у ходових частинах, додавши опір від кочення коліс по рейці, від тертя у підшипниках і від тертя реборд до узагальненого коефіцієнту опору руху w .

Встановимо початок координат у точці O (рис. 1) і приймемо напрямок осі x вбік руху при опусканні.

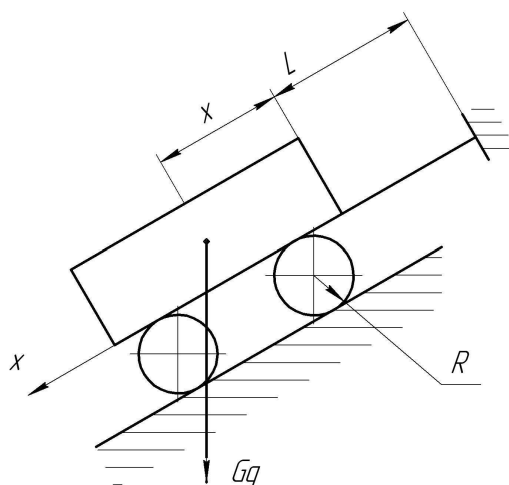


Рисунок 1 – Розрахункова схема

Рівняння руху з урахуванням w запишемо у вигляді:

$$\ddot{x} + p^2 x \pm \frac{gw}{1 + \gamma} = 0, \quad (2)$$

де γ – коефіцієнт, який враховує інерцію від мас, що обертаються;

$$p^2 = \frac{C}{(1 + \gamma)G}, \text{ де } G - \text{загальна маса досліджуваного механізму.}$$

Особливість рівняння (2) полягає у тому, що поперед третього доданку у лівій частині може бути як додатний знак, так і від’ємний.

Розглянемо перший інтервал руху, який починається у момент часу $t = 0$, коли $x = A_0$, а $\dot{x} = 0$. У цьому інтервалі швидкість від’ємна, тому має бути взятий від’ємний знак.

Перепишемо рівняння (2) наступним чином:

$$\ddot{x} + p^2 x - ap^2 = 0, \quad (3)$$

де $a = \frac{gGw}{C}$.

Розв’язок цього рівняння за вказаних початкових умов:

$$x = (A_0 - a) \cos pt + a; \quad (4)$$

Для швидкості вираз матиме наступний вигляд:

$$v = \dot{x} = -(A_0 - a) p \sin pt. \quad (5)$$

Очевидно, що коли аргумент pt дорівнюватиме π , швидкість знову стане нульовою, тобто відхилення буде:

$$A_1 = (A_0 - a) \cos \pi + a = -A_0 + 2a, \quad (6)$$

тобто за абсолютною величиною воно менше початкового на величину

$$2a = \frac{2gGw}{C}.$$

Якщо абсолютна величина A_1 задовольняє нерівності $C|A_1| > \frac{gw}{1+\gamma}$ (або $|A_1| > a$), то сила пружності канату більше сили тертя і об’єкт розпочне рух у бік додатного значення x , і рівняння руху запишеться у вигляді:

$$\ddot{x} + p^2 x + ap^2 = 0. \quad (7)$$

Якщо змістити початок відліку часу [3] і початкові умови прийняти у вигляді $t = 0$; $x = A_1$; $\dot{x} = 0$, то розв’язок цього рівняння запишеться у вигляді:

$$x = (A_1 + a) \cos pt - a. \quad (8)$$

Неважко пересвідчитися, що $A_2 = -(A_1 + 2a)$ або $A_2 = A_0 - 4a$.

Таким чином, якщо відома амплітуда A_2 коливань у кінці першого періоду, то можна записати, що $A_0 - A_2 = 4a$ і

$$A_0 - A_2 = \frac{4gGw}{C}. \quad (9)$$

З цього рівняння величина коефіцієнту опору руху:

$$w = \frac{(A_0 - A_2)C}{4gG}. \quad (10)$$

Тепер вираз (1) запишемо у вигляді:

$$\frac{(A_0 - A_2)C}{4gG} = \frac{\mu d}{2R} K_p + \frac{f}{R} K_p. \quad (11)$$

У [4] отримані формули для визначення коефіцієнта тертя кочення через напівширину плями контакту у напрямку кочення.

При лінійному контакті

$$f = 0,225b \exp(-1,2R), \quad (12)$$

а при точковому

$$f = 0,160b \exp(-0,2R), \quad (13)$$

де R у метрах.

З урахуванням виразів (12) і (13), отримаємо, що при рейці із плоскою голівкою

$$K_p = \frac{(A_0 - A_2)CR}{4Gg \left(\frac{\mu d}{2} + 0,225be^{-1,2R} \right)}, \quad (14)$$

а при рейці з заокругленою голівкою

$$K_p = \frac{(A_0 - A_2)CR}{4Gg \left(\frac{\mu d}{2} + 0,160be^{-0,2R} \right)}, \quad (15)$$

У формулах (14) і (15) коефіцієнт μ зводиться до цапфи, а оскільки у підшипниках кочення може обертатися як внутрішня, так і зовнішня обійми, то невідомо, що розуміти під терміном «цапфа».

Якщо коефіцієнт тертя кочення кульки або ролика зовнішньою обоймою f_{23} , а внутрішньою f_{13} , то час, необхідний для обертання підшипнику у випадку обертання внутрішньої обойми (зовнішня обойма нерухома):

$$M_1 = P(f_{13} + f_{23}) \frac{D_{\text{вн}}}{d_{\kappa}}, \quad (16)$$

де $D_{\text{вн}}$ – діаметр доріжки кочення внутрішньої обойми;

d_{κ} – діаметр кульки (або ролику).

При обертання зовнішньої обойми

$$M_2 = P(f_{13} + f_{23}) \frac{D_{\text{зн}}}{d_{\kappa}}, \quad (17)$$

де $D_{\text{зн}}$ – діаметр доріжки кочення зовнішньої обойми.

У випадку обертання, наприклад, внутрішньої обойми і діаметру колеса D опір його обертанню складатиме:

$$w_1 = P(f_{13} + f_{23}) \frac{D_{\text{вн}}}{D d_{\kappa}} = P \frac{\mu d}{D}. \quad (18)$$

Із цього рівняння можна зробити висновок, що коефіцієнт μ , приведений у довідковій літературі є не що інше, як

$$\mu = \frac{f_{13} + f_{23}}{d_{\kappa}}, \quad (19)$$

а під терміном «цапфа» при обертанні внутрішньої обойми слід розуміти діаметр доріжки кочення, тобто $d = D_{\text{вн}}$; при обертанні зовнішньої обойми $d = D_{\text{зн}}$.

Одним із можливих застосувань виразу (11) є дослідження величини K_p . Для цього замість одного канату необхідно два з різною жорсткістю. Різницю жорсткостей може імітувати, наприклад, тип струмоводу, привод механізму від яких і залежить K_p . Оскільки у цьому випадку $C = C_1 + C_2$, то вираз (11) запишеться у вигляді:

$$K_p = (A_0 - A_2) \frac{(C_1 + C_2) R}{4Gg \left(\frac{\mu d}{2} + f \right)}. \quad (20)$$

Якщо цю формулу представити у вигляді

$$C_1 = \frac{4Gg \left(\frac{\mu d}{2} + f \right)}{(A_0 - A_2) R} K_p - C_2, \quad (21)$$

то можна, добираючи відповідні жорсткості канатів, отримати зв'язок між K_p і C_1 , C_2 , а потім перенести ці дані на тип струмоводу.

Для визначення K_p можна скористатися безребордними колесами і знайти експериментально величину $\frac{(\mu d + 2f)}{2R}$, а після реборд-

ними, знайти величину $\frac{(\mu d + 2f)}{2R} K_p$. Різниця дасть наступне

$$K_p = \frac{(A_0 - A_2)C}{4Gg + \frac{\mu d + 2f}{2R}} \frac{2R}{\mu d + 2f}. \quad (22)$$

Висновки

Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити висновок про те, що запропоновані аналітичні залежності по визначенню коефіцієнта тертя кочення колеса по рейці і коефіцієнта тертя підшипників дають можливість визначити від загального коефіцієнту тертя у ходових частинах складову, яка приходить на тертя реборд.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по кранам: в 2 томах. Т.2 / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
2. Расчёт и конструирование горных транспортных машин и комплексов / И. Г. Штокман, П. М. Кондразин, В. Н. Маценко и др. – М.: Недра. – 1975. – 464 с.
3. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я. Г. Пановко. – М.: Гостехиздат. – 1957. – 336 с.
4. Бондаренко, Л. М. Деформаційні опори в машинах / Л. М. Бондаренко, М. П. Довбня, В. С. Ловейкін. – Дніпропетровськ: ДніпроVAL. – 2002. – 200 с.
5. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
6. Tabor, D. The mechanism of rolling friction: the elastic range / D. Tabor. – Proc. Roy. Soc., 1955. – p. 198.

В.Б. Зворыкин, Г.Ю. Станциц

**КОРРЕКЦИЯ САР СКОРОСТИ
ПРИ НАЛИЧИИ УПРУГОЙ СВЯЗИ ДВИГАТЕЛЯ
С МЕХАНИЗМОМ И БОЛЬШИХ КОЭФФИЦИЕНТАХ
СООТНОШЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ МАСС**

Аннотация. Рассмотрены способы настройки системы подчиненного регулирования скорости при наличии упругой связи двигателя с механизмом и больших значениях коэффициента инерции. Предложен способ расчета регулятора скорости, позволяющий получить переходные процессы по скорости исполнительного органа с перерегулированием, соответствующем настройке на модульный оптимум.

Ключевые слова: системы подчиненного регулирования, управление скоростью, двухмассовая система, упругая связь, демпфирование колебаний.

В [3] показано, что при сравнительно небольших величинах коэффициента инерции γ коэффициент усиления регулятора скорости следует выбирать по формуле:

$$k_{pc} = \sqrt{\frac{T_{M1}}{T_c(\gamma-1)}} \gamma \sqrt{\gamma}. \quad (1)$$

где T_{M1} и T_{M2} - соответственно, электромеханические постоянные времени, обусловленные инерцией первой и второй масс; T_c - постоянная времени жесткости кинематических связей; $\gamma = \frac{T_{M2} + T_{M1}}{T_{M1}}$ - коэффициент инерции, k_{pc} - коэффициент усиления регулятора скорости.

При больших коэффициентах инерции $\gamma > 5.8$ и расчете k_{pc} по формуле (1) изменение скорости исполнительного органа (ИО) при пуске происходит без перерегулирования [3]. В этих случаях целесообразно выбирать k_{pc} так, чтобы коэффициент демпфирования составил $\xi_9 = 0.707$. Это позволит увеличить быстродействие САР скорости при сохранении перерегулирования на допустимом уровне.

При этом рабочая точка будет располагаться на линии равного значения $\xi_9 = 0.707 = \text{const} / 3/$. Этого можно достичь как уменьшением k_{pc} ($A < B$), так и его увеличением ($A > B$), по сравнению со значением, рассчитанным по (1).

В первом случае переходный процесс будет более длительным, чем при расчетном значении k_{pc} . Поэтому практический интерес представляет второй случай (кривая *бв* на плоскости диаграммы Вышнеградского /3/).

Найдем выражение, связывающее коэффициент инерции γ и коэффициент демпфирования $\xi_9 = 0.707$ с требуемой величиной коэффициента усиления регулятора скорости k_{pc} .

Координаты *A* и *B* новой рабочей точки на диаграмме Вышнеградского с учетом $\xi_9 = 0.707$ запишутся:

$$\begin{cases} A = \frac{\gamma \tau_9^2}{2\xi_9 \tau_9^3 + 1} = \frac{\gamma \tau_9^2}{1.414 \tau_9^3 + 1}, \\ B = \frac{\gamma}{A} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{где } \tau_9 = \sqrt[3]{\frac{(\gamma - 1 - 4\xi_9^2) + \sqrt{(\gamma - 1 - 4\xi_9^2)^2 - 16\xi_9^2}}{4\xi_9}}.$$

С учетом значения *A*, вычисленного по (2), коэффициент усиления регулятора скорости определится:

$$k_{pc} = \sqrt{\frac{A^3 T_{M1}}{T_c (\gamma - 1)}}. \quad (3)$$

Выбор коэффициента усиления в соответствии с (3) позволяет настроить двухмассовую САР скорости с упругой связью на переходные процессы с демпфированием $\xi_9 = 0.707$ при $\gamma > 5.8$.

На рис. 1 показаны кривые изменения скорости исполнительного органа при k_{pc} , рассчитанном по формуле (3). Как следует из кривых рис. 1, быстродействие электропривода возрастает как при $\gamma = 9$, так и при $\gamma = 14$. Перерегулирования в системе регулирования сохраняется на уровне, соответствующему настройке на модульный оптимум.

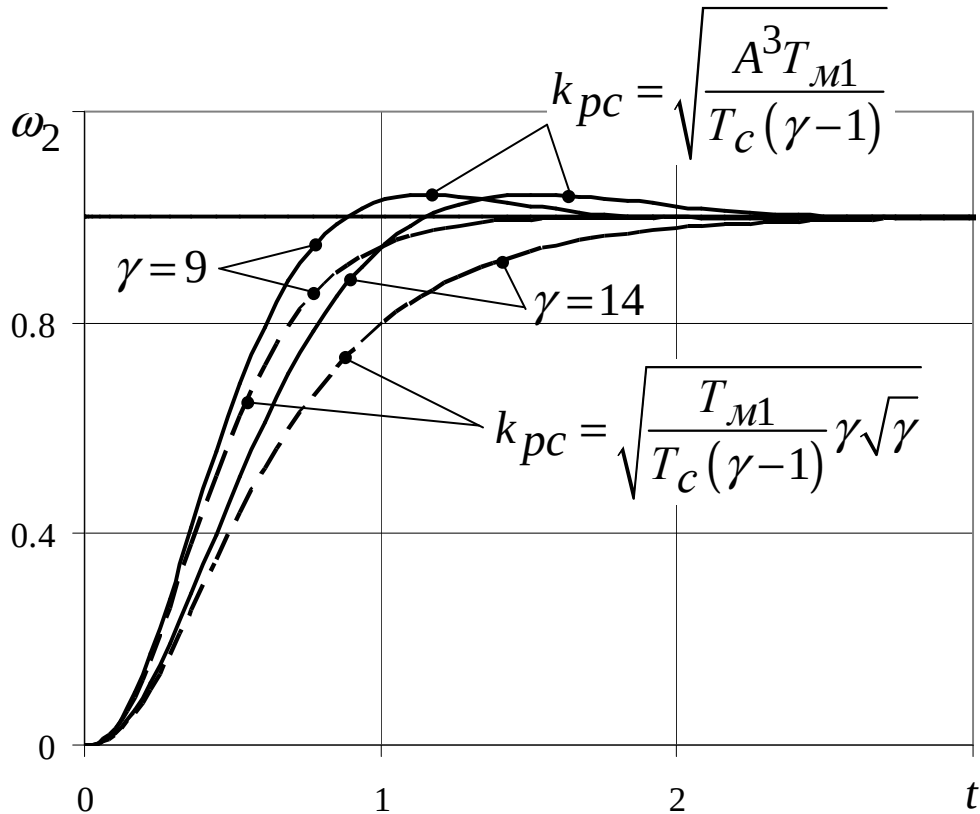


Рисунок 1 - Изменение скорости исполнительного органа

Выводы

Предложенный метод расчета регулятора скорости позволяет получить в САР скорости с упругой связью двигателя с механизмом и большим соотношением инерционных масс переходные процессы по скорости ИО с перерегулированием, соответствующему настройке на модульный оптимум.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982.-392 с.
2. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. М., Энергия, 1971.-320с.
3. Зворыкин В.Б., Станциц Г.Ю. Управление скоростью двигателя при наличии упругой связи с механизмом //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 6(83). – Днепропетровск, 2012. с.1-6.

UDK

M.O. Matveeva, V.N. Bespal'ko, E.V. Zhilenkova, B.V. Klimovich
**ANALYSIS OF TITANIUM MICRO-ALLOYING INFLUENCE
ON PHASE TRANSFORMATIONS IN THE MOTTLED
CAST IRONS**

This analysis depends on differential thermal analysis processes occurring during heating in the micro-alloyed iron of titanium. Data on the influence of dispersion of the metal matrix, shape and distribution of graphite on the temperature phase transition is validated. It was found that the titanium in the range investigated (0,017...0,044%) shifts the formation of the oxide film in the region of lower temperatures. Cast iron's intensive oxidation processes begin at 460-500° C. Therefore, it is seen that titanium impurities in the investigated range of concentrations can adversely affect the heat resistance of the castings.

Investigations of the physical nature and the mechanism of Fe-C alloys structure formation are essential for the development of the general theory of alloys and for solving the particular founding for production of cast iron. Titanium is always present in the cast iron, because it is a native element present in iron ore. Titanium is also incorporated into the melt as a contaminant from steel and cast iron waste. The titanium impurities in the materials charge result not only in powerful changes in the expected interatomic interactions but also lead to the emergence of noticeable structural peculiarities in the solid metal.

Analysis of the problem. A small amount of titanium in liquid cast iron is observed to favor its graphitization. [1] According to [2], it somewhat reduces the strength of cast iron, as it neutralizes (binds) nitrogen. Titanium is a reducing agent and modifier, which enhances the grindability of the cast iron, increases the dispersivity of the structure and corrosion properties [3, 4]. Titanium at 0.03 - 0.10% is injected into special gray con-

struction cast iron in order to increase their wear resistance due to the formation of carbides or carbonitrides [5]. It is also noted that titanium is valued as the main element in the carbide in white irons [6].

No data was obtained about processes of phase transitions in cast iron with titanium microdoses occurring at low temperatures, although it is suspected that this may be important in the analysis of the heat resistance of the castings.

The purpose of this research is to study the influence of titanium impurities on phase transitions in mottled cast irons, as well as the performance properties of castings formed through these phase transitions.

Research methods. Smelting was conducted on high-frequency setting VCHI10-10/0.44. Weight lump charging: 0.2 ± 0.01 kg. Chemical composition of the base cast iron (% by weight): C 3.14; Si 2.20; Mn 0.61; Cr 0.20; S 0.03; P 0.05. Melting time in a heated crucible: 100 ± 10 s. Temperature of the metal in the furnace determined by thermo-couple Pt / Pt recording potentiometer KSP-4.

Any change of state of metals and alloys (phase, inter-phase or structural transformation) is an enthalpy change, and therefore must be accompanied by a thermal effect - preposition or absorption of heat. In researching chemical reactions and transformations that occur under the influence of the heating or cooling of alloys, differential thermal analysis methodology was used to measure small thermal effects. Thermogravimetry was used to determine with great precision the change of mass of the investigated sample in the process transformation [7].

Transformations of the metal can be monitored and calculations with a particular amount of reaction products can be made with the help of the curve of thermogravimetric analysis (TGA) however, differential thermography will improve the quality of TG curve estimates. The curve of the rate of change of mass of the sample in time (DTG) provides reliable data in the study of the transformations of the metal. Simultaneous determination of the change in mass and enthalpy enables better analysis of the transformation taking

place. Joint thermal and thermal gravimetric analysis was performed with the help of derivatography. Experimental technique was described in work [8].

Experimental investigations and discussions. Research on the effect of titanium on the phase transitions required a series of smelts in which a sample of the original cast iron and samples containing increasing amounts of titanium were melted in a furnace heated to 1390-1410° C. Chemical analyses of the smelted samples are shown in table. 1.

Table 1

The experimental melts chemical composition

№№	Element, % by mass (Fe rest)					
	C	Si	Mn	S	P	Ti
Orig. cast iron	3,75-3,80	2,00-2,10	0,61-0,65	0,03-0,04	0,04-0,05	-
1	3,73-3,77	1,79-1,86	0,61-0,65	0,02-0,03	0,04-0,05	0,017-0,019
2	3,60-3,68	2,00-2,15	0,61-0,68	0,03-0,04	0,04-0,05	0,022-0,024
3	3,75-3,80	1,80-1,86	0,60-0,68	0,02-0,03	0,04-0,05	0,030-0,032
4	3,51-3,60	1,72-1,78	0,60-0,68	0,02-0,03	0,04-0,05	0,041-0,044

Thermogravimetric analysis curves (TG) showed that with the increase of the titanium content in the experimental iron, the onset temperature of the increment of sample mass and its intensive increase declined (Table 2). In the sample of the original iron, analogous processes occur at higher temperatures. It was established that titanium lowers the temperature at which an oxide film develops.

Table 2

The results of thermogravimetric analysis

Parameter	Temperature, °C					
	Original cast iron		T1	T2	T3	T4
Start mass increments	460		450	410	390	370
Intensive growth of mass	750		500	485	480	460

Results of the study. The curves measuring the magnitude of the thermal effects for the DTA process vary according to the pattern illustrated in Fig.1:

- On the experimental curves of all samples there are five temperature ranges that have characterized the various processes in the cast iron when heated - I, II, III, IV and V (Table 3);

- Changes in the DTA curves for all samples at temperatures below 300° C are similar in nature;

- Character of the change curves T1 and T4 in the temperature range 300 - 600° C are analogous;

- The shift in the DTA curve in the temperature range 600-800° C for a sample of original cast is comparable to the DTA curve for sample T3

- Curves for T2 and T3 show plateaus that indicate the equality of the thermal effects of the processes taking place.

The structure of the original sample was gray cast iron with lamellar graphite and ferrite-pearlitic matrix. Part IV (see Fig. 1, a) on the DTA curve for this sample is associated with the processes of austenitizing perlite. In austenitizing at this temperature range, eutectoid equilibrium begins when ferrite is oversaturated with carbon and can transition thermodynamically $\alpha \rightarrow \gamma$. As $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation is achieved through gradual dissolution of cementite perlites. Further heating (section V) causes dissolution of graphite and polymorphic transformation $\alpha \rightarrow \gamma$, which involves an α solid solution matrix of cast iron, formed by cooling the reaction $A \rightarrow F + G$. Start these transformations needs a higher degree of overheating, increasing the difference between the free phase energies, so they take place at higher temperatures than the austenitizing process perlite. Austenitizing at sites with a perlitic matrix is much faster than in areas with a ferritic matrix [9]. Above the eutectoid range (metastable and stable equilibrium) perlite and ferrite are transformed into austenite, which on further heating becomes further enriched with carbon (due to increasing solubility of carbon in austenite) as a result of dissolution. Part I of the DTA curves may be associated with processes of gas absorption and stress relaxation near the graphite inclusions. The fastest relaxation peak stresses are in the cast iron plates with coarse graphite, and the slower are in cast iron with graphite compact form [10]. With the introduction of 0,041% Ti, the number of

coarse graphite plates decreased and the structure was basically dominated by vorticity graphite with interdendritic distribution. The possibility of this process is demonstrated by the DTA curve on the part in the sample T4- it is flatter indicating a decrease in intensity.

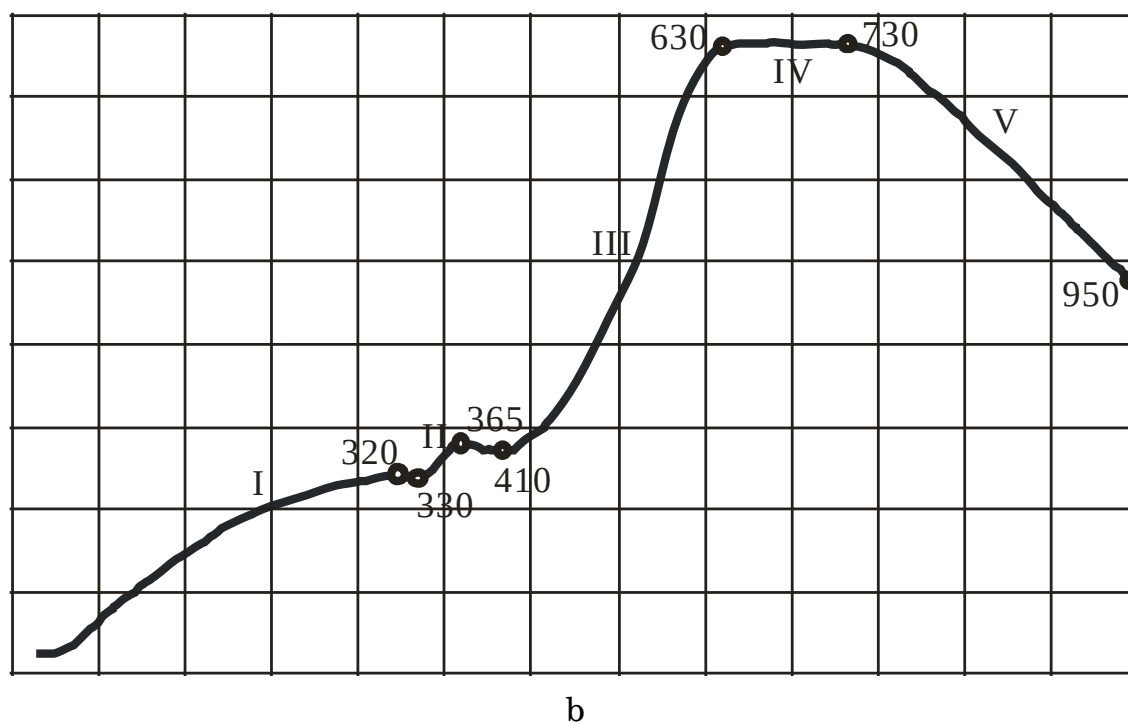
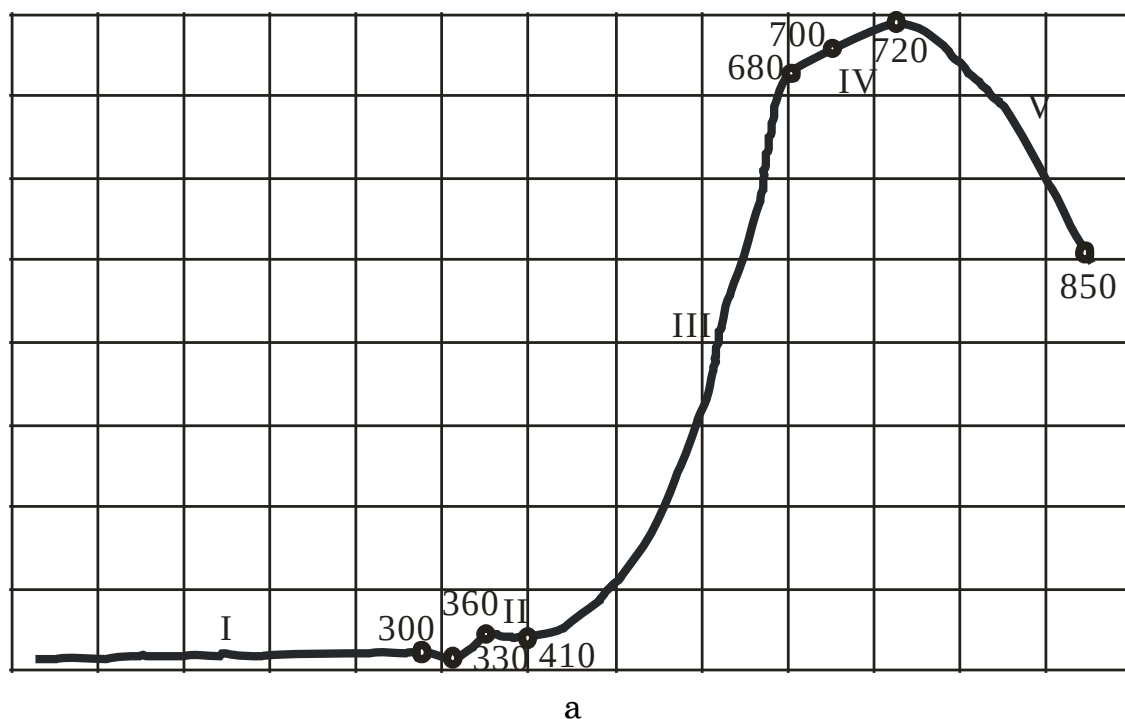
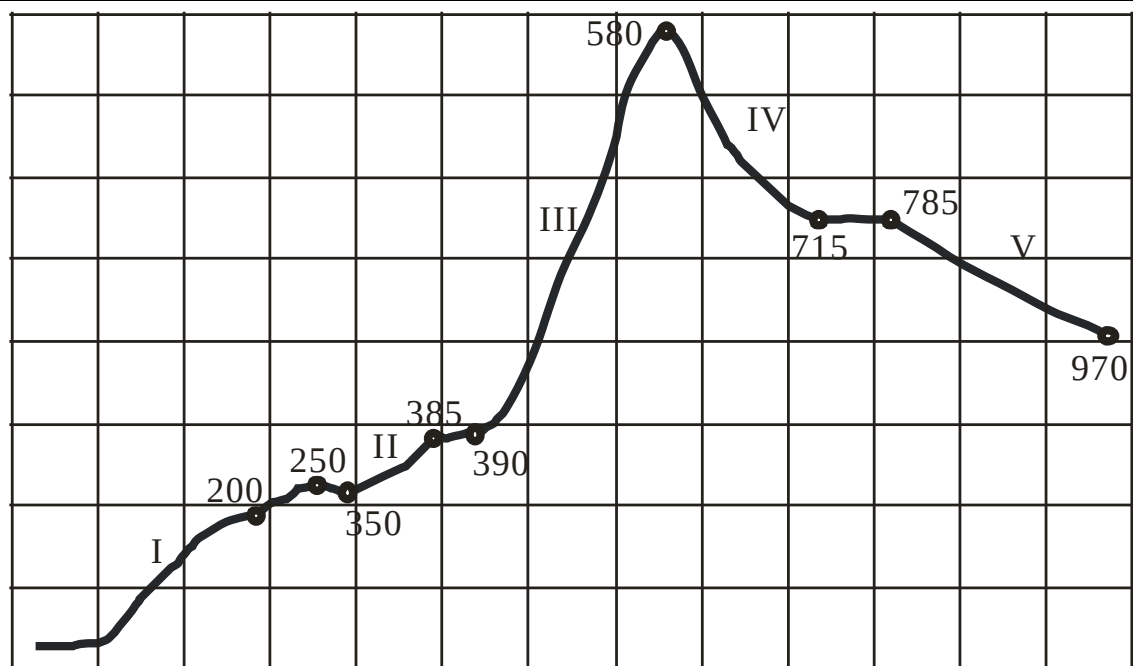


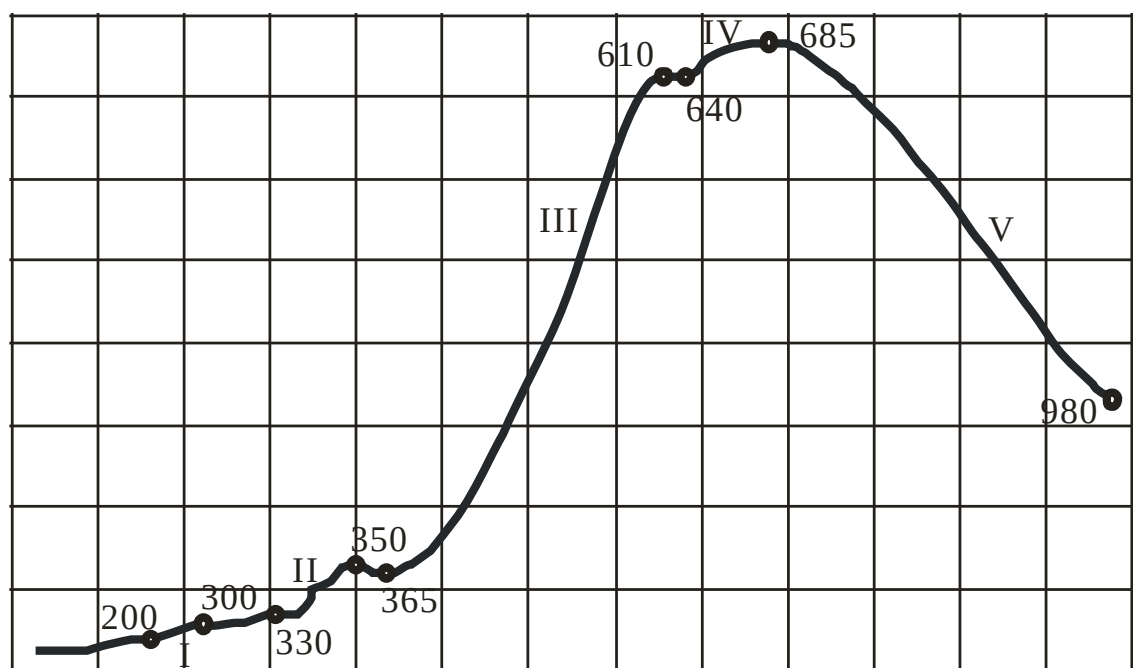
Figure 1 - DTA curves of pilot melts:

a – 0,017...0,019 % Ti;

b – 0,022...0,024 % Ti



c



d

Figure 1 - DTA curves of pilot melts:

c – 0,030...0,032 % Ti;

d – 0,041...0,044 % Ti

DTA curves analysis

№ Sample	Temperature interval and Q* Process				
	I	II	III	IV	V
Initial sample	0-40-60	60-130- 340	340- 610	610 - 710 - 820	820-900
	Q	+ Q	- Q	- Q	- Q
T1	0-(250)- 300	300-360	410- 680	680 - 700 - 720	720-850
	+ Q	- Q	- Q	+ Q	- Q
T2	0-320	320-355	355- 630	630 - 730	730-950
	+ Q	- Q	- Q	Q	- Q
T3	0-200	250-350	350- 580	580-715; 715- 785	785-970
	+ Q	- Q	- Q	+ Q - Q	- Q
T4	100-200- 300	300-330	330- 610	610-640; 640- 685	685-980
	Q	Q	- Q	Q + Q	- Q

Notices:

-Q -process occurs with decreasing temperature and heat absorption;

Q -the process occurs at constant temperature with the absorption of heat;

+Q -process occurs with increasing temperature and heat.

Parts II and III are identified with the processes that occur with variations in dispersion perlite. Parts IV and V show the processes of austenitizing perlite and dissolution of graphite. According to published data [9], titanium shifts position of the critical points C' / E' /, S' /, to lower concentrations of carbon. The positive effect of small amounts of titanium (less than 0.1%) on the graphitization is connected with the fact that the carbide TiC is a substrate for graphite nucleation.

The introduction of titanium in the cast iron slows down the perlite transformation, increasing the stability of solidified austenite. The natural increase in stability of solid austenite under the influence of alloying elements is rather complicated. Alloying elements can slow perlite transformation for several reasons:

- As a result of the formation of special carbides. Formation of the austenite necessitates diffusional redistribution of alloying elements whose atoms are less mobile than the carbon atoms.

- Through slowing down the diffusion of carbon;

- Through decreasing the speed of polymorphic transformation

$\gamma \rightarrow \alpha$.

According to [11], titanium coarsens in perlite eutectoid transformation. Research [12] has also established that for Ti content between 0.41 and 0.44%, perlite became homogeneous.

The microstructure of experimental cast iron consists of graphite, perlite and a very small amount of cementite (less than 0.5%). However, the amount, form, distribution of graphite, as well as the dispersion and homogeneity of perlite vary. Fig. 2 shows the typical structure.

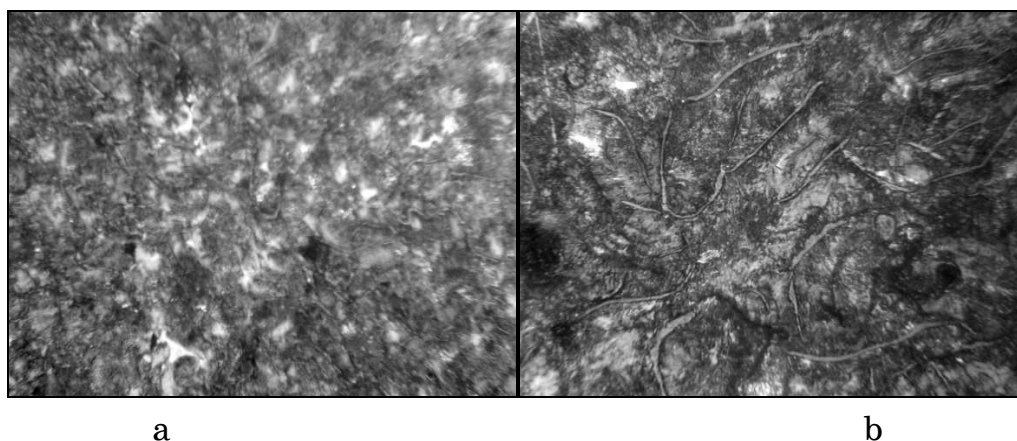


Figure 2 - The microstructure of the metal matrix of the experimental cast iron sx 300: a - Ti 0,017 ... 0,019%; b - Ti 0,041 ... 0,044%

In experiments, cast iron graphite formed as crystals (graphite eutectic and possibly in samples T1 and T4 primary graphite) and in the solid state (graphite secondary, but in small volumes and eutectoid). However, secondary graphite and graphite eutectoid did not form independent structural components; they superimposed on carbon already present in the structure.

Austenitizing of ferrite starts with an oversaturation of carbon, when repacking of the iron atoms (transition $\alpha \rightarrow \gamma$) becomes thermodynamically possible. Austenite crystallizes and grows in perlite, with austenite first saturated with carbon, which comes mainly from dissolving cementite. During of polymorphic transformation cementite is dissolving first

and then graphite. At further heating (section V) secondary graphite dissolves $GII \rightarrow A$.

Structural changes in cast iron with perlite matrix in the temperature range of eutectoid transformation are connected with austenitizing-perlite and carburization matrix. The speed of these processes depends on the composition of cast iron, the structure of the matrix, the number and branching of graphite inclusions, the degree of microscopical segregation of impurities. In [9], the author described the influence of the form of graphite on austenitizing process of cast iron. In cast irons with large plate graphite, dissolution is difficult because no good contact with metal matrix. In the cast irons with a highly branched graphite probability of contact loss is lower and degree of impurity segregation (silica) is less. Besides points of $\alpha \rightarrow \gamma$ - transformation arise more, and carbon diffusion ways are shorter. This results in high speed austenitizing and carburization of austenite, and the contraction of range of the process.

Changing the temperature of the beginning of austenite formation and graphite secondary start dissolution with increasing titanium content is presented in Table. 4. The analysis suggests that the increase of the titanium content in the iron to 0.032% lowers the temperature at which the process of austenitizing perlitite begins and increases the temperature at which the dissolution of secondary graphite begins, in this way expanding the range of perlitic transformation. Further increase of the titanium content to 0.041...0.044% leads to a contraction of the temperature range.

Table 4

Start temperatures of austenite formation and graphite dissolution

Temperature, °C	Titanium content, % (by mass)				
	Original cast iron	0,017...0,019	0,022 ...0,024	0,030... 0,032	0,041...0,044
Begin of education of austenite	610	680	630	580	610
Start dissolv- ing graphite secondary	770	720	730	785	685

The differences in the DTA curves in parts IV and V can be explained by the difference in the form and distribution of graphite, which were noted in samples with different contents of titanium [3].

As the dispersion of the structure of graphite and pearlite increases, austenitizing time decreases. The speed of this process is proportional to the diffusion coefficient of carbon and the concentration gradient near the boundary at the interface of F / E and F / C , as well as in areas with graphite. Therefore, an increase in titanium content to 0.041...0.044%, which increases the proportion of graphite in the form of small subeutectic-type vortices enhances austenitizing and promotes decreases in the temperature differences indicated in section IV. Difficulties in separating eutectoid and secondary graphite prevent us from calculating the volume fraction of cast iron in the structure as titanium content varies. It can be assumed that the difference in the curves TDA in parts IV and V is due to differences in the form and distribution of graphite: The influence of these parameters on the kinetics of austenitizing and dissolution of and graphite leads to different total magnitude of the thermal effect when heated in the temperature range from 680 to 980°C.

Conclusions

The investigations establish the possibility that the experimental titanium concentration had no effect on the process of gas absorption and stress relaxation near the graphite inclusions in the temperature range up to 300°C.

Data on the influence of dispersion of the metal matrix form and distribution of graphite on the temperature phase transition has been validated. Titanium content up to 0.032% lowers the temperature at which pearlite and austenitizing temperature increases start dissolution of secondary graphite, hence expands the range for pearlite transformation. Further increase of the titanium content to 0.041...0.044% results in small interdendritic graphite particles with coarsening of pearlite and therefore to contraction of the temperature range.

Titanium contents in the investigated range (0.017...0.044%) shift the formation of the oxide film to lower temperatures: In the experimental cast irons, intensive oxidation process has already begun at 460...500°C. Therefore titanium impurities in the studied range of concentrations can adversely affect the heat resistance of the castings.

REFERENCES

1. Справочник по чугунам и литью / подред. Н.Г. Гиршовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. - 758 с.: ил., табл., библиогр. - С. 741-753.
2. Чугун / [Шерман А.Д., Жуков А.А., Абдуллаев Е.В. и др.]; подред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. - 1-е изд. - М. :Металлургия, 1991. - 576 с.
3. Матвеева М. О. Влияние титана на формирование структуры чугуна / М.О. Матвеева, О.М. Шаповалова // Металознавство та термічна обробка металів. – 2008. – № 1. – С. 65–75.
4. Матвеева М.О. Исследования коррозионной стойкости чугунов экономнолегированных титаном / М.О. Матвеева, Е.Э. Чигиринец, А.А. Макарова // Вісник Донбаської Державної Машинобудівної Академії. – 2009. – № 1 (15). – С. 203–207.
5. Chapman J., Mannion G. Titanium Bearing Cast Irons for Automotive Bracing Application // Foundry Trade Journal 1982. February 25. P.232; 235-237; 239-242; 244-248.
6. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства / И.И. Цыпин. - М. :Металлургия, 1983. - 176 с.
7. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. – 3-е изд., перераб. и доп. В 3-х т. Т1. Методы испытаний и исследования / Подред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М.:Металлургия, 1983. 352 с.
8. Шаповалова О.М. Влияние хрома на фазовые превращения в чугунах / О.М. Шаповалова, М.О. Матвеева, В.М. Беспалько // Современные проблемы металлургии. – 2006. – С. 15–26.
9. Бунин К. П. Основы металлографии чугуна / К.П. Бунин, Я.Н. Малиночка, Ю.Н. Таран. - М.: Металлургия, 1969. - 416 с.
10. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1986, 480 с.
11. Бунин К.П. Строение чугуна / К.П. Бунин, Ю.Н. Таран. - М.: Металлургия, 1972. - 160 с.
12. Матвеева М.О. Влияние титана на формирование структуры чугуна / М.О. Матвеева, О.М. Шаповалова // Металознавство та термічна обробка металів. – 2008. – № 1. – С. 65–75.

Х.А. Аскеров

ВЛИЯНИЕ КАРБОНИТРИДОВ ВАНАДИЯ И НИОБИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Regulation of the temperature-deformation processing mode allows to control the allocation of carbonitrides dispersed phases, which contributes to refinement of ferrite grains and obtaining substructure developed high density of dislocations.

Thus, advances in the field of steels with high mechanical properties allows the construction of steel structures reduce metal. From this viewpoint, the most suitable are maloperlitnye grained steel with additions of niobium and vanadium

В последнее десятилетие были разработаны новые низколегированные высокопрочные стали с пониженным ($< 0,10\%$) содержанием углерода, основными преимуществами которых по сравнению с обычными конструкционными и строительными сталями являются высокая свариваемость и пластичность [1, 2].

Использование преимуществ сталей с малым содержанием перлита оказалось возможным благодаря тому, что предел текучести и временное сопротивление могут быть повышены (несмотря на низкое содержание углерода) до достаточно высокого уровня путем упрочнения малыми добавками карбонитридообразующих элементов (ниобия, ванадия, титана, азота). Дисперсионное упрочнение ведет к значительному повышению прочности, но одновременно снижается ударная вязкость. Однако в результате использования указанных элементов удалось совместить дисперсионное твердение с измельчением зерна. Эффективность влияния этих элементов зависит от растворимости их карбонитридов в аустените, что при последующем охлаждении определяет количество и дисперсность упрочняющей фазы [3].

Свойства сталей в значительной степени определяются составом, размером, формой и характером распределения карбидной фазы.

Так как ванадий сильно влияет на карбидные превращения в стали, то он существенно влияет и на ее физико-механические свойства. Основным достоинством применения для легированных сталей, особенно строительных является их способность к упрочнению. Кроме ванадия для упрочнения малоуглеродистых сталей применяют небольшие добавки ниобия. Однако эффективность упрочнения стали ванадием значительно дешевле и менее дефицитен, чем ниобий. Одно из наиболее ценных качеств ванадия как легирующего элемента в стали – его способность измельчать зерно [4]. Применительно к стали соединения ванадий с железом, углеродом, азотом и тройные : железо-углерод-ванадий, железо-азот-ванадий и железо-легирующий элемент-ванадий представляют интерес. Ванадий – сильный карбидообразующий и нитридообразующий элемент. Образующие им карбиды и нитриды являются фазами внедрения. В литературе можно встретить ссылки на следующие карбиды в системе ванадий-углерод : V_5C (4,5% C) ; V_2C (10,54 % C) ; V_4C_3 (15,02% C) ; VC (19,08% C); V_2C_3 (26,12% C). Однако при исследовании стали наиболее часто упоминаются только карбиды VC и V_4C_3 .

При нагреве стали для термической обработки карбиды или нитриды ванадия могут растворяться в аустените или оставаться нерастворенными. От этого зависят многие свойства термической обработанной стали: закаливаемость, прокаливаемость, устойчивость против отпуска, износостойкость и др. Растворимость карбида ванадия в аустените в зависимости от температуры нагрева зависит от соотношения углерода и ванадия, т.е. количества карбида ванадия. При медленном нагреве стали со структурой феррита - карбидной смеси переход через критическую точку вызывает образование мелкого зерна аустенита.

Металлургической промышленностью освоен выпуск ряда марок сталей подвергаемых контролируемой прокатке на станах 3000 и 3600 металлургических комбинатов имени Ильича и «Азовсталь».

Химический состав и механические свойства листов из мало-перлитных сталей, изготавливаемых с применением контролируемой прокатки показаны в таблицах [1,2].

Таблица I

Химический состав исследуемых сталей

МАРКА СТАЛИ	C	Mn	Si	S	P	Al	V	Nb
09Г2ФБ	0,09	1,70	0,35	0,010	0,02	0,05	0,09	0,05
10Г2ФБ	0,12	1,75	0,35	0,006	0,02	0,05	0,012	0,04

Таблица II

Механические свойства листов из малоперлитных сталей

МАРКА СТАЛИ	σ_B Н/мм ²	σ_T Н/мм ²	δ %	KCU	KCV
				Дж/см ²	
09Г2ФБ	550	450	22	59	88
10Г2ФБ	588	460	22	64	88

Введение ванадия и ниобия в строительные стали прежде всего повышает их прочность и упругие свойства (отношение $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$), такое влияние этих элементов обусловлено дисперсионным твердением в результате выделения мелкодисперсных карбидов ванадия при $\gamma-\sigma$ превращениях или при высокотемпературном отпуске закаленной стали. Получение в строительных сталях с ванадием и ниобием повышенной прочности после высокотемпературного отпуска – одно из основных преимуществ этих сталей. Отпуск при более высокой температуре дает возможность получить в стальных изделиях детали с минимальными остаточными внутренними напряжениями, что часто очень важно для надежности и высокой эксплуатационной стойкости стальных строительных конструкций.

Существенное влияние ванадия и ниобия на повышение устойчивости против отпуска связано с замедлением распада мартенсита – пересыщенного твердого α – раствора, задержкой выделения углерода из него и образованием высокодисперсных карбидов ванадия и ниобия, вызывающих дисперсионное твердение. Мартенсит, содержащий растворенные карбидообразующие элементы, сохраняет повышенное содержание углерода.

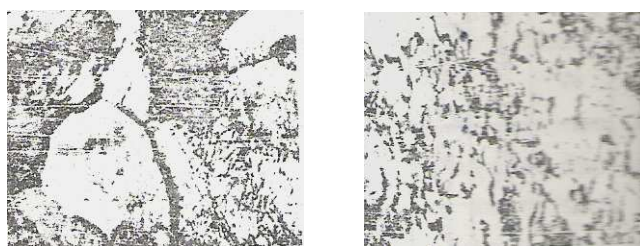
Чем выше карбидообразующая способность элемента, тем больше количество углерода задерживается в растворе α . При повышении температуры отпуска α раствор обедняется карбидообра-

зующим элементом и из него выделяется избыточный углерод в виде второй порции карбида.

Закаленная сталь, в которой карбид ванадия при нагреве под закалку перешёл в твердый раствор, при отпуске разупрочняется меньше, чем сталь без ванадия. Чем больше карбида ванадия в стали и чем больше его переходит в твердый раствор, тем более устойчива сталь против отпуска. Если карбид ванадия не растворяется в аустените при нагреве под закалку, то задерживающее влияние ванадия на разупрочнение стали при отпуске не проявляется. Таким образом, повышенная устойчивость ванадиевой стали против отпуска определяется не абсолютным содержанием ванадия в стали, а его количеством, растворяющимся в аустените. Изложенные особенности влияния этих элементов на свойства строительных сталей делают весьма перспективным легирование ванадием и ниобием.

Особый интерес вызывает малоperlитная сталь 09Г2ФБ, высокие прочностные свойства которой обеспечиваются созданием мелкозеренной ферритной структуры в результате контролируемой прокатки [6].

Электронномикроскопические исследования микроструктуры позволили сделать количественную оценку, в результате которой получен средний размер субзерна феррита примерно 0,05 мкм. Плотность дислокаций в феррите составила $= 10 (10) \text{см}^{-2}$ (рис.1).



а

б

а – х 25000

б – х 50000

Рисунок 1 - Микроструктура стали 09Г2ФБ
после контролируемой прокатки

Повышая скорость охлаждения после контролируемой прокатки, то есть используя различные охлаждающие среды, в стали 09Г2ФБ наряду с игольчатым ферритом наблюдаются участки с кар-

бидными выделениями, характерными для речного дислокационного мартенсита (рис.2).



а – дислокации в феррите

б – карбидные выделения X 50000

Рисунок 2 - Микроструктура стали 09Г2ФБ после контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением

В ряде работ [7,8] установлено, что при снижении температуры аустенитизации с 1250 до 1050 ... ферритное зерно измельчается на 0,5 – 1 балл. Кроме того, для увеличения измельчения зерна аустенита деформация при горячей прокатке должна носить убывающий характер с преобладанием степени деформаций (до 50%) в аустенитной области. Дальнейшее измельчение зерна обеспечивается при снижении температуры контролируемой прокатки от 1000 до 700.

Регулирование температурно-деформационного режима обработки позволяет контролировать выделение дисперсных фаз карбонитридов, что способствует измельчению зерна феррита и получению развитой субструктуры с повышенной плотностью дислокаций [9]. Повышение прочности и сопротивления разрушению в игольчатом феррите, вероятно, можно объяснить тем, что прочность сплава регулируется размером субструктурных единиц, которые зависят от температуры превращения.

Таким образом, достижения в области создания сталей с высоким комплексом механических свойств позволяет при строительстве стальных конструкций снизить металлоёмкость. С этой точки зрения наиболее приемлемыми являются малоперлитные мелкозернистые стали с добавками ниобия и ванадия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. М., 1982. 184с.
2. Ю.И.Матросов, Н.И. Карчевская и др. Карбонитриды ниобия и ванадия в малоperlитных сталях. Известия АН СССР: Металлы. 1975. №3. с. 151-155.
3. Большаков В.И. , Монгайт И.А. Закалка с прокатного нагрева малоperlитной стали с ниобием и ванадием. // Металловедение и термическая обработка металлов. М. 1983, №2 с.42-44.
4. Большаков В.И. , Аскеров Х.А. Карбидообразование и упрочнение строительных сталей с ванадием. //Перспективные задачи инженерной науки.GAUDEMUS, 2001, Днепропетровск, с 115.
5. И.Н. Голиков, М.И.Гольдштейн, И.И.Мурзин. Ванадий в стали. М. Металлургия, 1968 с.291.
6. Большаков В.И., Монгайт И.А. Исследование тонкой структуры закаленной стали с ниобием и ванадием после контролируемой прокатки. – Известия вузов. Черная металлургия, 1983, №7, с. 102-106.
7. Большаков В.И. Разработка теоретических основ и внедрение процессов субструктурного упрочнения строительных сталей с целью повышения их эксплуатационных свойств. – Диссертация на соискание уч.степени доктора техн.наук, - Днепропетровск 1985,-450 с.
8. Большаков В.И., Стародубов К.Ф., Тылкин М.А. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности, - М: Металлургия, 1977.-200 с.
9. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали.–М : Металлургия, 1983.-460.

Т.М. Кадильникова, Н.А. Величко, В.А. Кулик
**МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТОРНОЕНИЯ
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ
ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА**

Аннотация: Предложена система мониторинговой оценки текущего состояния инновационного проекта, позволяющая прогнозировать направление инноваций и производить реализацию проекта на основе объектно-ориентированного подхода. Для обеспечения корректности оценки текущего состояния проекта используется корреляционный анализ, при этом обеспечивается получение достаточного объема информации ранее проведенных выборочных исследований.

Ключевые слова: инновационный проект, моделирование, управленческое решение, объектно-ориентированный подход, аппаратно-программный комплекс.

Постановка проблемы. Современные инновационные проекты представляют собой сложные системы мероприятий, взаимообусловленные и взаимосвязанные между собой исполнителями проекта по срокам исполнения, ресурсам, стоимости отдельных частей и всего проекта в целом, направлены для достижения конкретных целей в приоритетных направлениях развития науки и техники.

Анализ публикаций по теме исследования. Применяемые в настоящее время методы моделирования инновационных проектов не дают возможности реально оценивать их текущее состояние на различных стадиях жизненного цикла проекта, а тем более с удовлетворительной достоверностью выполнять прогноз проекта как технической системы в будущем. В частности в [1,2] были проведены исследования по внедрению инновационных технических систем мониторинговой оценки долговечности машин и механизмов.

Таким образом, актуальной задачей является разработка теоретико-методологических основ управления инновационными проектами с применением математических и вычислительных методов, авто-

матизированных информационно-аналитических систем, которые базируются на последних достижениях компьютерных технологий [3-5].

Формулирование целей статьи. Целью настоящей работы является разработка концептуальных и теоретико - методологических основ построения инновационных проектов от стадии корректной постановки технического задания до стадии проверки выполнения проекта заказчиком, способных оптимально, используя выделенные финансовые ресурсы, и за ограниченное время достигать поставленной цели – корректного моделирования и изучения текущего состояния проекта.

Основная часть. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является создание таких методик моделирования проектов, которые быстро, с достаточной степенью надежности полученных результатов, позволяли бы моделировать изменения в контрольных точках проекта и делать выводы о возможности перераспределения работ по этапам.

Теоретическое обоснование методики инновационного проекта базируется на необходимости создания комплексной системы сбора, накопления, обработки и использования информации, которая

накапливается в виде базы данных в автоматическом режиме в ПЭВМ [6]. На основе этих результатов соответствующие организации и ответственные работники делают выводы о характере возможных управленческих решений, сроках их принятия и выполнения.

Данный подход обеспечивает широкий охват всех видов исследований, направленных на подробное освещение состояния всех фаз проекта и опирается на применение:

- процедур последовательного компьютерного анализа при выборе контролируемых параметров;
- средств контроля и математических методов обработки текущей информации;
- эталонных аппроксимационных вычислительных моделей для оценивания методом сравнения в реальном времени;
- многоуровневости по функциям и средствам мониторинговых исследований;
- концентрации информации в виде соответствующей базы знаний в ПЭВМ.

В общих чертах сущность методики построения инновационного проекта состоит в многоэтапности процедуры принятия решения о текущем состоянии проекта:

– с помощью математических и вычислительных методов решается задача оценки состояния проекта и определяется его соответствие требованиям нормативно-технической документации;

– если этого установить не удастся, то продолжаются мониторинговые исследования более точными техническими и математическими методами и средствами, позволяющими получить дополнительную информацию об объекте исследований [7].

В случае принятия решения о несоответствии проекта требованиям нормативно-технической документации осуществляется процедура поиска, связанная с использованием методов, обладающих высокой достоверностью учета качественной информации о состоянии проекта, являющейся четко ориентированной на управляющие решения. Предлагается следующий комплекс видов и направлений работ по построению системы мониторинговой оценки с иерархией последовательности операций (рис.1):

1. Подготовительные работы по проектированию системы мониторинговой оценки текущего состояния проекта.

2. Прогнозирование возможных результатов исследований.

3. Прогнозирование главных результатов исследований.

4. Обзор организаций и конкретных исполнителей, способных проводить мониторинговые исследования.

5. Конкурсный выбор организации из имеющихся в наличии (блок 4), которая будет проводить мониторинговые исследования (возможно, на тендерной основе; в этом случае стоит задача формирования тендерного комитета по выбору наиболее оптимального предложения).

6. Определение конкретных целей мониторинговых исследований перед исполнителями.

7. Обзор возможных параметров, которые могут быть получены в результате мониторинговых исследований.

8. Проведение системного анализа возможных параметров (блок 7) и выбор из всего множества возможных параметров – множества доступных в данных мониторинговых исследованиях параметров

согласно имеющимся средствам (финансовым ресурсам, аппаратной базы и т.д.).

9. Выбор аппаратной базы мониторинговых исследований согласно поставленным в блоке 6 целей мониторинговых исследований. Проведение оценочных исследований на базе будущей погрешности всех элементов системы мониторинга для получения итоговой погрешности доступных параметров.

10. После проведения комплекса работ блоки 1-10 мониторинговую систему можно считать построенной.

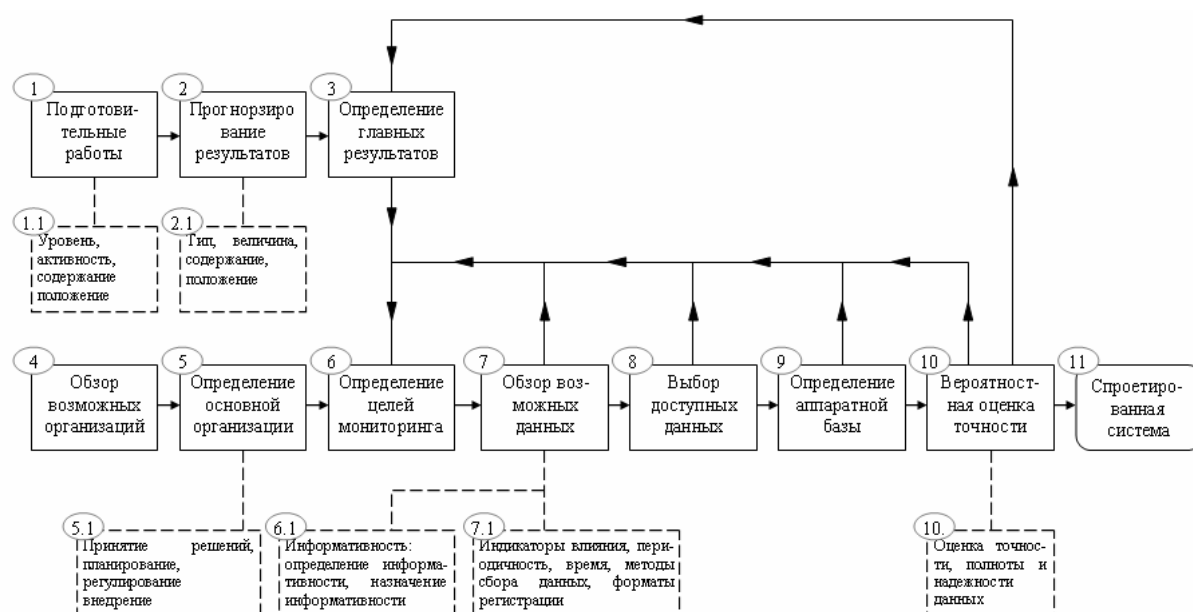


Рисунок 1- Комплекс работ по проектированию системы оценки текущего состояния проекта

В ходе проектирования системы мониторинга машин возможно возникновение следующих двух основных проблем, для которых необходима *обратная связь* между блоками 3 и 10, а также блоками 10-9-8-7-6 на рисунке 1 и последующее проведение работ по реконфигурации мониторинговой системы:

1. При достижении блока 10 при проектировании мониторинговой системы возможно получение дополнительной информации и последующее расширение диапазона главных результатов мониторинговых исследований (блок 3) на запланированной аппаратно-программной базе. В этом случае проектируемая система будет превышать планируемые изначально данные технического задания и потребуются реконфигурация системы мониторинга. Необходимо произвести соответствие более широких возможностей, которые могут быть

получены на спроектированной системе – целям исследований.

2. При достижении блока 10 может оказаться, что в результате не будут достигнуты итоговые планируемые в п. 3 главные результаты исследований. В этом случае необходима реконфигурация системы мониторинга с привлечением дополнительных средств, замены организации-исполнителя, либо снижение первоначальных требований к мониторинговым исследованиям на имеющихся в наличии ресурсах.

Выбор контрольных параметров и организация мониторинговых исследований осуществляется по принципу их репрезентативности. При этом должно обеспечиваться получение достаточного объема информации, которые необходимы на следующей стадии - прогнозировании.

Принципы, положенные в организацию системы оценки текущего состояния проекта, должны соответствовать требованиям программы исследований и соответствующим методическим руководствам.

Организационно-структурные функции системы мониторинговой оценки заключаются в следующих мероприятиях:

- организации предварительного математического моделирования изучаемого процесса проекта на основе аппроксимационных математических моделей;
- организации аппаратно-программного комплекса;
- организации сбора и накопления необходимой информации;
- организации первичной и последующей обработки информации и накопление её в базе данных под управлением автоматизированных систем управления базой данных;
- организации решения задач прогноза и оптимизации.

Важным условием обеспечения корректности оценки текущего состояния проекта является корреляционный сравнительный анализ полученных результатов с результатами теоретических и проектных расчетов и результатами ранее проведенных выборочных исследований.

11. Главным требованием при организации системы мониторинговой оценки состояния является максимальный охват условий и факторов, влияющих на изменение проекта.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Предложенная система мониторинговой оценки текущего состояния инновационного проекта позволяет прогнозировать направление инноваций и позволяет производить реализацию проекта на основе объектно-ориентированного подхода.

Сочетание математических, технологических и организационных компонент в рамках единой стратегии определяет её отличие от ранее известных, а эффективность применения объектно-ориентированного подхода подтверждена в ходе реализации проектов.

В дальнейших исследованиях может осуществляться конкурсный выбор проектов и организаций-исполнителей проектов, которые будут проводить мониторинговые исследования на тендерной основе, а также формирование тендерного комитета по выбору наиболее оптимальных предложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саломатов В.А. Моніторинг стану проблем соціально-економічного життя України//Зб. наук. пр. Укр. Академії держ. упр. при Президенті України. – К.: Вид-во УАДУ, 2000. - Вип. 2. - Ч. 3. - С. 271 - 278.
2. Кадильникова Т.М. Методология системного проектирования мониторинга сложных объектов. Будівельні конструкції. Збірник наукових праць.НДІБК. Випуск 60. Київ, 2004, с.334-341.
3. Інтегровані експертні системи діагностування в енергетики/ Б.З Стогній, В.А. Гуляєв, А.У. Киришенко та ін. – К.: Наук. думка, 1992. - 248 с.
4. Хаббард Дж. Автоматизированное проектирование баз данных.-М.: Мир, 1984—296 с.
5. Калашников В.И., Нефедов С.В. и др. Информационно-измерительная техника и технология. –М.: Высшая школа,-2002.-452с.
6. Построение современных измерительных систем на базе стандартных интерфейсов/ Т.И. Кривченко, Е.А. Станкевич, А.В. Клементьев, Г.Н. Новопашенный//Приборы и системы управления. – 1995. - № 1. С.1-6.
7. Соболев В.С. Программное обеспечение современных систем сбора и обработки измерительной информации//Приборы и системы управления. – 1998. - № 1. С.55-63.
8. Бех А.Д., Чернецкий В.В. Автоматические сети сбора и передачи технологической информации//Управляющие системы и машины. – 1995. - № 4/5. – С.33-36.

В.С. Хандецький, В.В. Герасимов

ВПЛИВ ВІКОННИХ ФУНКЦІЙ НА РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ В ДЕФЕКТОСКОПІЇ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Досліджено вплив віконних функцій при спектральних перетвореннях у дефектоскопії композитних матеріалів на розрізняюваність сигналів. Застосування віконної функції Гауса приводить до підвищення чутливості спектрального методу ідентифікації до коротких поверхневих тріщин на фоні шуму.

Ключові слова: віконна функція Хемінга, віконна функція Гауса, вихорострумовий датчик, поверхнева тріщина, інформаційний параметр ідентифікації.

Постановка проблеми. Композиційні матеріали знайшли широке застосування у сучасному машинобудуванні, насамперед в ракетоталітакобудуванні завдяки їх унікальним фізико-механічним властивостям. Серед них матеріали з вуглецевими армуючими волокнами займають особливе місце [1]. Неметалеві композити з вуглецевими армуючими волокнами відрізняє мала питома електрична провідність, зміни цієї величини в об'ємі та на поверхні матеріалу внаслідок неконтрольованих змін коефіцієнту армування та температури в ході технологічного процесу виготовлення виробів, наявність значної шорсткості поверхні. Ці обставини обумовлюють появу значної випадкової компоненти в сигналах дефектоскопії, що формуються при скануванні поверхні виробів з цих матеріалів. Одним з найбільш небезпечних дефектів у виробках з вуглепластиків є поверхневі тріщини, які можуть утворюватися внаслідок температурних градієнтів під час виготовлення виробів, а також механічних навантажень при їх експлуатації.

Властивості композитних матеріалів обмежують вибір фізичних методів їх неруйнівного контролю, наприклад, оптичні та радіохвильові методи контролю не застосовуються при дефектоскопії тріщин. Одним з найбільш перспективних методів для дефектоскопії по-

верхневих тріщин в таких композитах є метод вихорострумової дефектоскопії, який відрізняється безконтактністю вимірювань [2]. Вдосконалення вихорострумових методів неруйнівного контролю є можливим на базі широкого застосування комп'ютерних методів обробки вимірюваних сигналів. Застосування методів спектрального аналізу до сигналів, які виміряні за допомогою вихорострумового датчика може підвищити ефективність розв'язку задачі виявлення дефекту типу «тріщина» на фоні структурного шуму, який обумовлений текстурою самого вуглепластика, та відрізнити його від заважаючого сигналу відводу-перекосу датчика відносно поверхні композиту.

Для розв'язку цієї задачі нами використовується ідентифікаційний параметр, що формується як відношення суми амплітуд спектральних компонент, які належать визначеному діапазону, до суми всіх спектральних компонент, що є значущими для даного типу дефекту [3]. Спектральні компоненти розраховуються за допомогою дискретного перетворення Фур'є.

Метою даної роботи є дослідження впливу віконних функцій при спектральних перетвореннях в процесі дефектоскопії композитних матеріалів на розрізняюваність сигналів дефектів і заважаючого фактору, викривлених впливом високоінтенсивного шуму.

Аналіз останніх публікацій. Ґрунтуючись на результатах досліджень сигналу відхилення накладного вихорострумового датчика від нормалі до поверхні композитного матеріалу [4] і моделі модуляційного сигналу поверхневої тріщини [5], проводиться спектральний аналіз наступних сигналів: різниці експонент

$$s_1(x) = e^{-b^2 t^2} - ke^{-2b^2 t^2}, \quad (1)$$

який описує сигнал від поверхневої тріщини, і параболоїди

$$s_2(x) = ct^2 + d, \quad (2)$$

що відповідає сигналу перекосу/відводу вихорострумового датчика відносно поверхні композита.

Ця робота є подальшим розвитком роботи [3], яка передбачає використання спектру сигналів (1) і (2) для їхньої ідентифікації, тобто поділу сигналів від тріщини і сигналів відводу/перекосу датчика на фоні шуму. В даній роботі проводиться дослідження впливу віконних функцій при спектральних перетвореннях на якість ідентифіка-

ції сигналів від поверхневої тріщини та сигналів перекосу/відводу датчика ВСП, що знаходяться під впливом шуму, виникаючим при скануванні шорсткої поверхні композиту.

Основна частина. Вихідні дані та алгоритми обробки сигналів в основному були такі ж, як і в роботі [3]. До цього проводилися дослідження, результатом яких була здатність відрізнити сигнал дефекту від сигналу псевдодефекту (відвід/перекіс датчика) з однаковими амплітудами при адитивному впливі гаусовського шуму. У даному випадку необхідно дослідити та оцінити вплив застосування віконних функцій на здатність розрізнення сигналів (1) та (2).

Розглянемо сигнали тріщини і відводу/перекосу датчика без шуму з однаковою амплітудою, що дорівнює 1. Сімейство модуляційних імпульсів (сигналів тріщин), показаних на рис. 1а, характеризує тріщини різної глибини і довжини. Так модуляційний імпульс гаусівського типу є характерним для тріщин з помітними розмірами. У той же час двогорбий імпульс з максимальною величиною провалу є характерним для дефектів малої, у порівнянні з діаметром датчика, довжини.

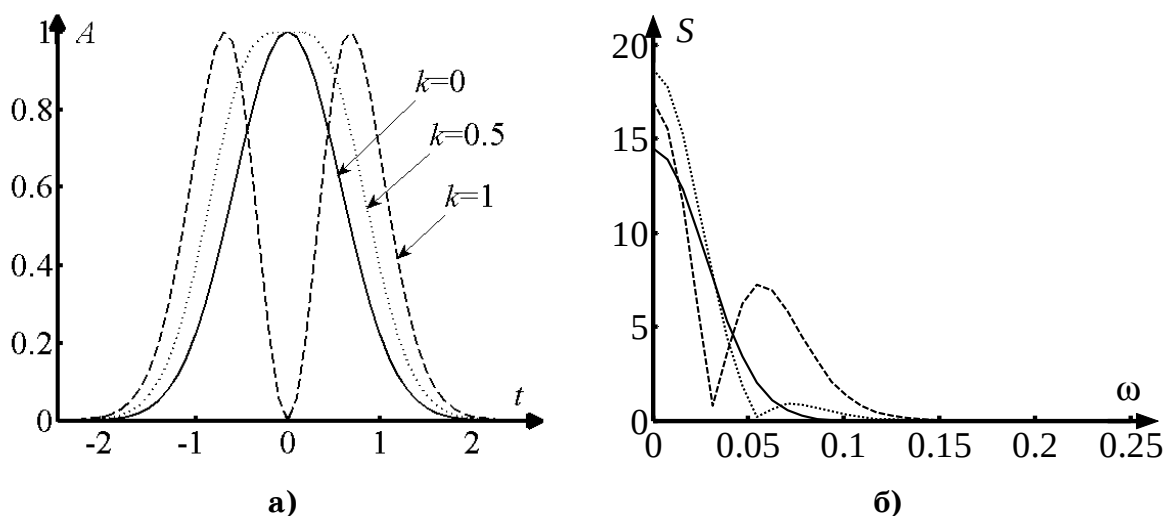


Рисунок 1 — Модуляційні імпульси тріщини і відповідні спектри:

$$s_1(t, 0) \text{ —}, s_1(t, 0.5) \text{ --}, s_1(t, 1) \text{ - -}$$

Аналіз спектрів модуляційних імпульсів тріщин різної довжини (рис. 1б) показав доцільність їх використання для визначення ідентифікаційного коефіцієнту, який характеризує розподіл потужності сигналів в діапазоні частот 0-0.1 (віднормованих на частоту дискретизації). Параметр (коефіцієнт) ідентифікації K_h є відношенням суми

амплітуд гармонік з 6-ї до 14-ї (перший боковий пелюсток) до суми гармонік з 1-ї до 14-ї (діапазон частот 0-0.1) [3]. Спектр заважаючого сигналу (псевдодефекту) в значній мірі є подібним до спектру модуляційного імпульсу з $k = 0$.

Дослідимо вплив віконних функцій на значення параметру ідентифікації K_h . Для цього виконаємо швидке перетворення Фур'є для сигналу дефекту при різних k та при різних рівнях шуму із застосуванням віконної функції та без неї.

Враховуючи визначення параметру ідентифікації, доцільно застосовувати вікно, використання якого приводить до незначного розширення головного пелюстка та достатньо ефективного зменшення амплітуди бокових пелюстків за межами визначеного діапазону частот. У спектрах модуляційних імпульсів амплітуди бокових пелюстків, які вже не використовуються для визначення параметру ідентифікації, становлять близько -16 дБ від амплітуди основного пелюстка. Для дослідження було обрано настроюване достатньо універсальне вікно Гауса, характеристики якого залежать від параметру α [6, 7]:

$$w(k) = e^{-\frac{1}{2} \left(\alpha \frac{k-1-n/2}{n/2} \right)^2}, \quad (3)$$

де n — довжина вікна, k — поточна точка вікна. При $\alpha = 1$ таке вікно забезпечує зменшення амплітуди бокових пелюстків близько -17 дБ і незначне розширення головного пелюстка. Для досліджень було обрано саме таке значення α .

Для порівняння було обрано вікно Хемінга, яке при дещо більшому розширенні головного пелюстка забезпечує значно більше зменшення амплітуди бокових пелюстків до -42 дБ і має помірне значення максимальної похибки дискретизації [8]. Описується вікно Хемінга наступною формулою:

$$w(n) = 0,54 + 0,46 \cos \left(2\pi \frac{k-1}{n-1} \right). \quad (4)$$

Результати дослідження впливу вищевказаних віконних функцій за наявності шуму на значення параметру ідентифікації наведені на рис. 2. У якості шуму було обрано гаусівський шум, для якого значення стандартного відхилення σ поступово збільшувалось від 0 до 1. Кожний експеримент повторювався 1000 разів.

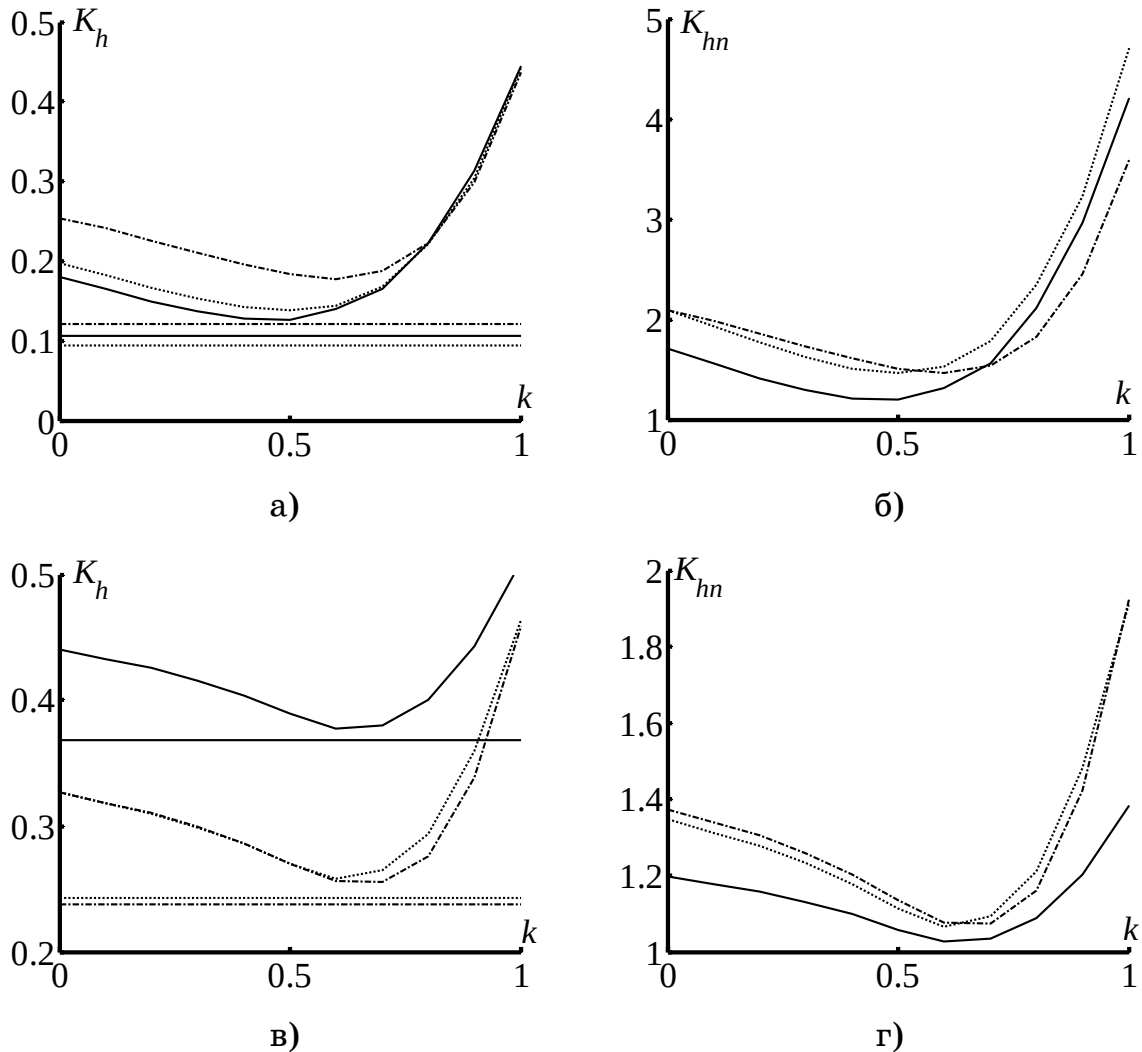


Рисунок 2 — Залежність параметру ідентифікації від параметру k , що характеризує форму модуляційного імпульсу тріщини, при $\sigma = 0$ (а, б), $\sigma = 0.5$ (в, г): — сигнали без віконних функцій; - - вікно Гауса; - — вікно Хемінга

На рис. 2а і 2в константні лінії відповідають сигналу s_2 (2), не константні — відповідно сигналу s_1 (1). На рис. 2б, г для порівняння ефективності віконних функцій значення параметру ідентифікації K_h для сигналу s_1 були віднормовані на відповідні значення цього коефіцієнту для сигналу s_2 (відводу/перекоосу датчика).

Аналіз отриманих результатів показує, що застосування віконної обробки в цілому покращує розрізняваність сигналів s_1 та s_2 , особливо у випадку коротких тріщин ($k \rightarrow 1$). Тільки при малих рівнях шуму і при $k \rightarrow 1$ застосування вікна Хемінга дещо погіршує ситуа-

цію. В інших випадках застосування віконних функцій приводить до покращення результатів.

Крім цього застосування віконної обробки значно зменшує ріст параметру K_h з ростом інтенсивності шуму. Так, при збільшенні стандартного відхилення шуму з 0 до 0.5 без віконної обробки параметр ідентифікації K_h для сигналу відводу/перекосу збільшується приблизно з 0.11 до 0.37, тобто приблизно в 3.5 рази. Після обробки з використанням вікна Хемінга цей параметр з 0.12 зростає лише до 0.24, тобто приблизно в 2 рази, і відповідно для вікна Гауса — з 0.09 до 0.24, тобто приблизно в 2.5 рази. При цьому слід зауважити, що значніше відносне збільшення досліджуваного параметру зі збільшенням рівня шуму для вікна Гауса пояснюється тим, що за відсутності шуму (початкове значення) цей параметр має менше значення, ніж для вікна Хемінга. При подальшому збільшенні рівня шуму ідентифікаційний параметр K_h для сигналу відводу/перекосу для вікна Гауса збільшується дещо швидше і при стандартному відхиленні шуму $\sigma = 1$ має значення 0.37 проти 0.35 для вікна Хемінга. Такий же вплив віконної обробки на параметр K_h спостерігається для сигналу поверхневої тріщини.

Спробуємо вирішити зворотну задачу — за значенням ідентифікаційного параметру визначити тип сигналу. Наприклад, значення $K_h \approx 0.4$ за відсутності шуму зі значною вірогідністю відповідає сигналу короткої поверхневої тріщини (рис. 2а). При рівні шуму $\sigma = 0.5$ без віконної обробки це значення K_h може уже з певною вірогідністю відповідати як сигналу поверхневої тріщини, так і сигналу відводу/перекосу (рис. 2в). При застосуванні будь-якої з досліджуваних віконних функцій для перетворення Фур'є при рівні шуму $\sigma = 0.5$ таке значення K_h для сигналу/відводу перекосу практично неможливе (рис. 2в) і з великою вірогідністю відповідає поверхневій тріщині. Таким чином, застосування віконної функції під час перетворення Фур'є дозволяє стабілізувати значення K_h при коливаннях рівня шуму і зменшити залежність K_h від амплітуди шуму.

Остання властивість віконної функції стає ще більш важливою, якщо взяти до уваги критичне значення параметру ідентифікації, яке обчислюється за відсутності будь-якого сигналу, тобто для одного шуму. Без віконної обробки це критичне значення дорівнює $K_{hu} = 0.6475$, з віконною обробкою (вікно Хемінга) — $K_{hu} = 0.6548$. За

умови однакової амплітуди всіх гармонік шуму (білий шум) теоретичне граничне значення $K_{hu} = 0.643$. З рис. 2а і 2в видно, що зі збільшенням рівня шуму (від 0 до 0.5) значення ідентифікаційного параметру K_h для сигналу поверхневої тріщини починає збільшуватись і при $\sigma = 1$ досягає значення $K_h = 0.58$ (такий рівень шуму на рисунках не представлено). Якщо обчислювати спектр сигналу з віконною функцією, ідентифікаційний параметр при $\sigma = 1$ досягає значення $K_h = 0.51$. Враховуючи, що $K_h \approx 0.65$ відповідає чистому шуму, приходимо до висновку, що використання віконної функції підвищує вірогідність виявлення коротких тріщин на фоні значного шуму.

Зведену інформацію по впливу віконних функцій при виконанні перетворення Фур'є представлено на рис. 3. Найтемніша область відповідає значенню віднормованого ідентифікаційного параметру K_{hn} в діапазоні від 1 до 1.1 для сигналу s_1 (для сигналу s_2 цей параметр дорівнює 1). Чим яскравіша область, тим краще будуть розрізнятися сигнали поверхневих тріщин та відводу/перекоосу. З наведеного рисунку видно, що без віконних функцій найтемніша область займає майже половину площі діаграми ($\sim 38\%$) (рис. 3а). Після використання вікна Гауса зона найгіршої розрізняваності займає менше чверті діаграми ($\sim 16\%$) (рис. 3б). Застосування вікна Хемінга дає приблизно такі ж результати.

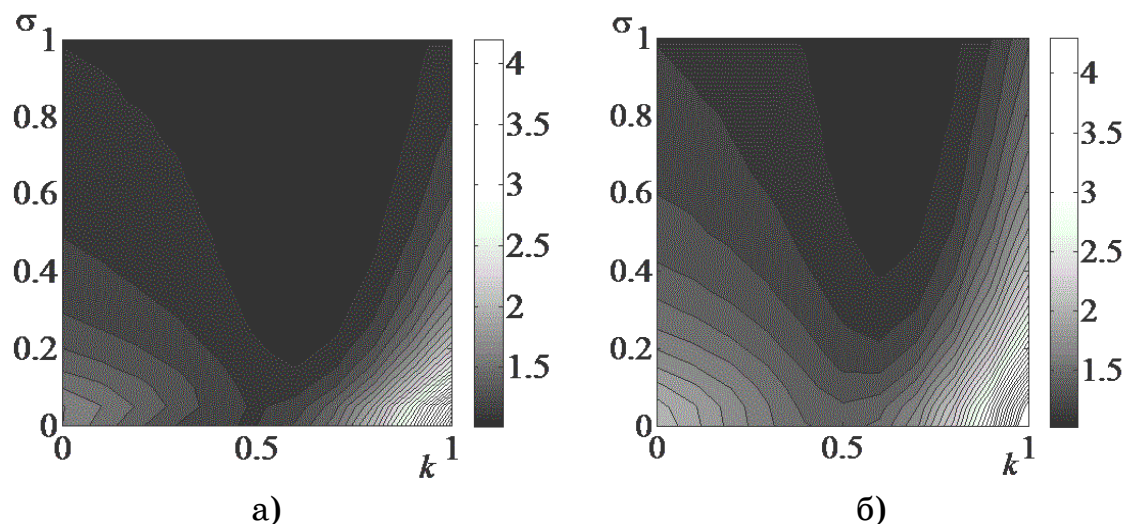


Рисунок 3 — Залежність нормованого параметру ідентифікації від форми модуляційного імпульсу (k) та рівня шуму (σ):

а) без віконної функції; б) з вікном Гауса

Висновки. Було досліджено вплив віконних функцій при виконанні перетворення Фур'є на розрізняюваність сигналів поверхневих тріщин та відводу/перекосу вихорострумового датчика. Застосування віконної обробки приводить до:

- покращення розрізняюваності сигналів коротких поверхневих тріщин від сигналів відводу/перекосу датчика на фоні шуму;
- зменшення впливу рівня шуму на значення параметру ідентифікації K_h і, відповідно, до підвищення чутливості до коротких поверхневих тріщин на фоні шуму.

Слід відзначити, що вікно Гауса при обраному параметрі $\alpha = 1$, незначних рівнях шуму і $k \rightarrow 1$ показало кращі результати, ніж вікно Хемінга. При більших рівнях шуму для забезпечення хороших результатів потрібно параметр α зменшити до значення близько 0.4, при якому характеристики вікна Гауса приблизно відповідають вікну Хемінга [7]. В цілому вікно Гауса краще підходить для задач спектральної ідентифікації сигналів дефектів завдяки адаптації до рівня шуму за допомогою параметра α .

ЛІТЕРАТУРА

1. Джур Е. А., Вдовин С. И, Кучма Л. Д. – Технология производства космических ракет: Учебник. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. – 184 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. 2 книги. Кн. 2/Под ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1986.- 352 с.
3. Хандецкий В. С., Герасимов В. В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний. // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. 2003. Вип. 10. С. 128-132.
4. Герасимов В. В., Герасимова О. Л. Исследование сигнала перекоса вихре-токового датчика // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 5 (16). — Дніпропетровськ, 2001. — с. 39-41.
5. Беда П. И. Исследование сигналов накладного датчика в зависимости от изменения размеров и расположения дефектов типа трещин. // Дефектоскопия. 1970. № 1. С. 62-67.
6. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.
7. Теория и практика цифровой обработки сигналов. Спектральный анализ на ограниченном интервале времени. Оконные функции [Электронный ресурс] — <http://www.dsplib.ru/content/win/win.html>
8. Бабак В. П., Хандецкий В. С., Шрюфер Е. Обробка сигналів. — Київ: "Либідь", 1999. — 495 с.

И.И. Коваленко, С.Б. Приходько, Е.С. Пугаченко, А.В. Швед
**ГРАФОДИНАМИЧЕСКОЕ ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ
СОСТАВОМ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Аннотация. Рассматривается новый подход имитационного моделирования задач управления составом организационных систем с использованием теории графодинамики.

Ключевые слова: организационные системы, иерархия, графодинамика, имитационное моделирование.

Введение

К числу важнейших задач управления организационными системами (ОС) относятся задачи управления их составом (набор персонала, увольнение и др.). Эти задачи сводятся, как правило, к поиску и формированию оптимальных иерархий управления в соответствии с определенными критериями (например, затраты на содержание сотрудников организации, норма управляемости и др.)[1].

Приведем постановки известных задач управления составом ОС, для чего введем следующие обозначения[1,2]:

$N_0 = \{1, 2, \dots, n\}$ – фактический (начальный) состав ОС, состоящий из n участников; N – конечный состав ОС (результат решения задачи управления составом); N' – множество потенциальных (фактических и претендентов) участников ОС ($N \subseteq N'$, $N_0 \subseteq N'$); $\Delta^+(N, N_0) = N \setminus N_0$ – множество участников, принятых на работу (включенных в состав ОС); $\Delta^-(N, N_0) = N_0 \setminus N$ – множество участников, уволенных с работы (исключенных из состава ОС); $\Phi(N, N_0)$ – функционал, ставящий в соответствие начальному и конечному составу действительное число – эффективность управления составом.

С учетом этого, могут решаться следующие задачи управления составом ОС:

- задача формирования состава, которая характеризуется отсутствием начального состава ($N_0 = \emptyset$):

$$\Phi(N, \emptyset) \rightarrow \max_{N \in 2^{N'}} \quad (1)$$

- задача оптимизации состава (при фиксированном составе N):

$$\Phi(N, N_0) \rightarrow \max_{N \in 2^{N'}} \quad (2)$$

- задача расширения состава (иногда ее называют задачей о приеме на работу):

$$\Phi(N, N_0) \rightarrow \max_{N \in 2^{N'} : N_0 \subseteq N; |N| \leq n+m} \quad (3)$$

где m – ограничение на максимальное число вновь принимаемых на работу участников;

- задача сокращения состава (задача об увольнении):

$$\Phi(N, N_0) \rightarrow \max_{N=N_0 \mid \Delta^+; |\Delta^-| \geq m} \quad (4)$$

и ряд других задач.

Общим недостатком рассмотренных моделей является то, что в основе их реализации лежит метод перебора множества допустимых иерархий, который характеризуется высокой вычислительной сложностью. Данная проблема в значительной степени может быть снята посредством использования графодинамических систем для моделирования рассмотренных задач.

Постановка задачи.

Цель работы состоит в рассмотрении нового подхода, в основе которого лежит имитационное моделирование задач управления составом ОС с использованием теории графодинамических систем.

Изложение основного материала.

В работах [3,4] определено понятие «графодинамическая система» и предложен один из возможных способов ее описания – язык «П-функций».

Под графодинамической системой понимается динамическая система, в которой объектом изменения является ее структура, описываемая графом связи между отдельными элементами. Ограничимся рассмотрением лишь таких систем, в которых граф связи является деревом.

Пусть имеется иерархический нумерованный граф-дерево (рис. 1, а), где номер n каждой вершины строго больше номера «старшей»

вершины с номером m . Поставим в соответствие каждой вершине с номером n число $\varphi(n)=m$. Например, для графа на рис. 1, а получим следующую последовательность [2]:

$$\varphi(1)=0; \varphi(2)=\varphi(3)=\varphi(4)=1; \varphi(5)=2; \varphi(6)=\varphi(7)=\varphi(8)=\varphi(9)=3; \varphi(10)=4; \dots$$

Тогда такой граф может быть представлен целочисленной функцией $\varphi(n)$, определенной на множестве всех неотрицательных чисел $1, 2, 3, \dots, N_{\max}$, где $N_{\max}$ – максимальный номер вершине в графе. Функция $\varphi(n)$, отражающая как бы структуру подчинений в графе, названа функцией подчинения, или, кратко, П-функцией. Графики всех возможных П-функций с учетом ограничений на нумерацию вершин лежат внутри плоскости $\{n, \varphi(n)\}$. На рис. 1, б показана П-функция графа (рис. 1, а).

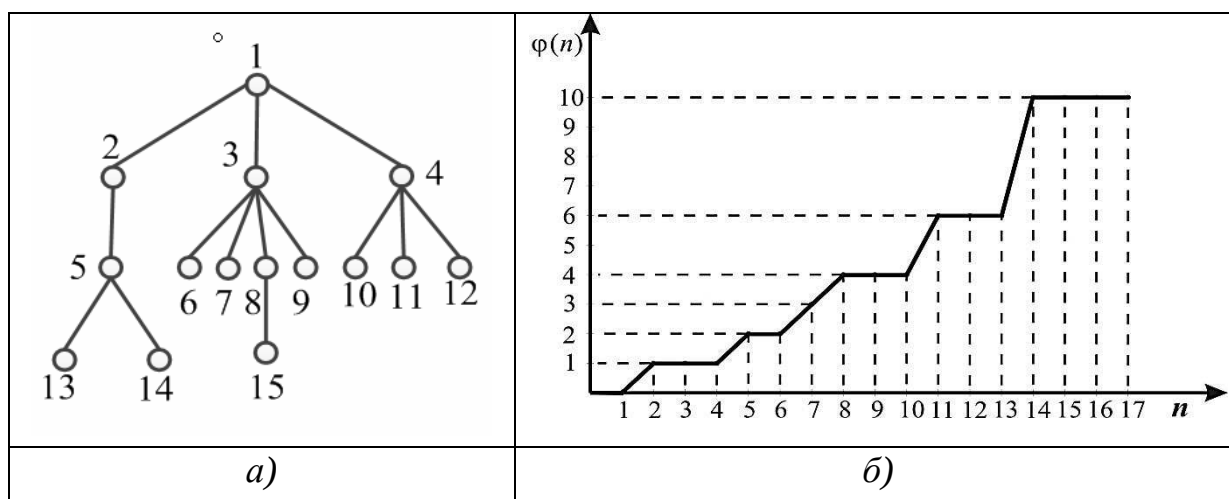


Рисунок 1 – Граф-дерево и его П-функция

Целочисленная П-функция $\varphi(n)$ заведомо удовлетворяет следующим ограничениям:

1. $\varphi(n) < n$, т.е. номер любой вершины всегда больше номера той вершины, которой она «подчинена».
2. $\varphi(n)$ определена на всех целых n от 1 до некоторого N .
3. $\varphi(n)=0$ – означает, что вершина графа с номером n не подчинена ни одной вершине, т.е. данное ограничение характеризует процедуру появления корня (корневой вершины) дерева.

Над П-функциями выполняются унарные, бинарные и r -арные операции, перечень которых приведен в таблице 1.

Операции преобразования графов

N/N п. п.	Название и математическое представление операции	Результат выполнения операции
1	2	3
Унарные операции		
1	Операция «разукрупнение» $\psi(n) = \left\lfloor \frac{(n)}{k} \right\rfloor$, где $\lfloor \cdot \rfloor$ – целая часть, $k > 1$	Декомпозиция дерева (деление на несколько частей с сохране- нием общего числа вершин)
2	Операция «укрупнение» $\psi(n) = k \cdot \varphi(n)$, $k=2,3,\dots$	«Растягивание» дерева по вер- тикальной оси
3	Операция «параболический рост» $\psi(n) = \lfloor \sqrt{\varphi(n)} \rfloor$, $n=1,2,\dots,N$	Сжатие числа уровней с увели- чением числа вершин сверху вниз
4	Операция «укрупнение с со- кращением» $\psi(n) = \varphi(k \cdot n)$, $k=2,3,\dots$	Уменьшение числа вершин де- рева с одновременным его «рас- тягиванием»
5	Операция «предпочтение» $\psi_1(n) = \varphi(n+1)$, $\psi_2(n) = \varphi(n) \div 1$, где операция $\div$ означает $a \div b = \begin{cases} a - b, & \text{если } a > b; \\ 0, & \text{если } a \leq b. \end{cases}$	Означает переподчинение каж- дой вершины дерева вершине ближайшего «младшего по ран- гу начальника» или переподчи- нение «начальнику с более вы- соким рангом»
6	Операция «разукрупнение и развитие» $\psi(n) = \varphi(\lfloor n/k \rfloor)$, $k > 1$. При дополнительном предпо- ложении $\varphi(\lfloor n/k \rfloor) = 1$ при $n/k < 1$	В терминах административной структуры описывает как бы разделение структуры, сопрово- ждающееся ростом штата

1	2	3
7	Аддитивная операция «локального переподчинения» $\psi(n) = \varphi(n) + p(n)$, $p(n) = \{-1; 0; +1\}$.	Локальные переподчинения вершин в дереве
8	Мультипликативная операция «деструктуризация» $\psi(n) = [\varphi(n) \cdot p(n)]$, где $p(n) = 1/n$.	Превращение дерева (леса) в набор несвязных вершин («рассыпанный», вырожденный граф)
Бинарные операции		
9	Операция «арифметическое усреднение» $\psi(n) = [(\varphi(n) + \pi(n))/2]$, где $[\cdot]$ – означает целую часть	Синтез и упорядочение структур деревьев
10	Операция «геометрическое усреднение» $\psi(n) = [\sqrt{\varphi(n) \cdot \pi(n)}]$	Синтез структур деревьев с увеличением числа уровней иерархии
11	Операция «экстремизация» $\psi(n) = \max(\varphi(n), \pi(n))$, $\psi(n) = \min(\varphi(n), \pi(n))$.	Синтез структуры дерева по двум исходным деревьям
<i>r</i> -арные операции		
12	Арифметическое усреднение по <i>r</i> аргументам $\psi(n) = \left[\sum_i^r \varphi_i(n) / r \right]$	Синтез и упорядочение структур деревьев по <i>r</i> П-функциям
13	Операция «взвешенное среднее» $\psi(n) = \left[\frac{k_1 \varphi_1(n) + \dots + k_r \varphi_r(n)}{k_1 + \dots + k_r} \right]$, где все k_i – положительные числа	Объединение задач синтеза структуры дерева по <i>r</i> П-функциям с задачей «растягивания» дерева по вертикали

Представленные процедуры позволяют производить преобразования иерархических организационных структур при решении различных задач их оптимизации. Рассмотрим ряд примеров, иллюстрирующих возможности графодинамики.

1. Моделирование перераспределения нормы управляемости в организационной структуре

Рассмотрим ситуацию, когда необходимо промоделировать процедуру увеличения числа подчиненных в иерархии по мере перехода от более высоких к более низким её уровням. Такая задача может рассматриваться, как перераспределение нормы управляемости между менеджерами. Процедура может быть реализована посредством следующей операции:

$$\psi(n) = \lfloor \sqrt{\zeta(n)} \rfloor, \quad \zeta(n) = \lfloor n \cdot (\varphi(n) + 1) / 2 \rfloor \quad (5)$$

На рис. 2 (а, б) представлено соответственно исходное двоичное дерево и преобразованный граф.

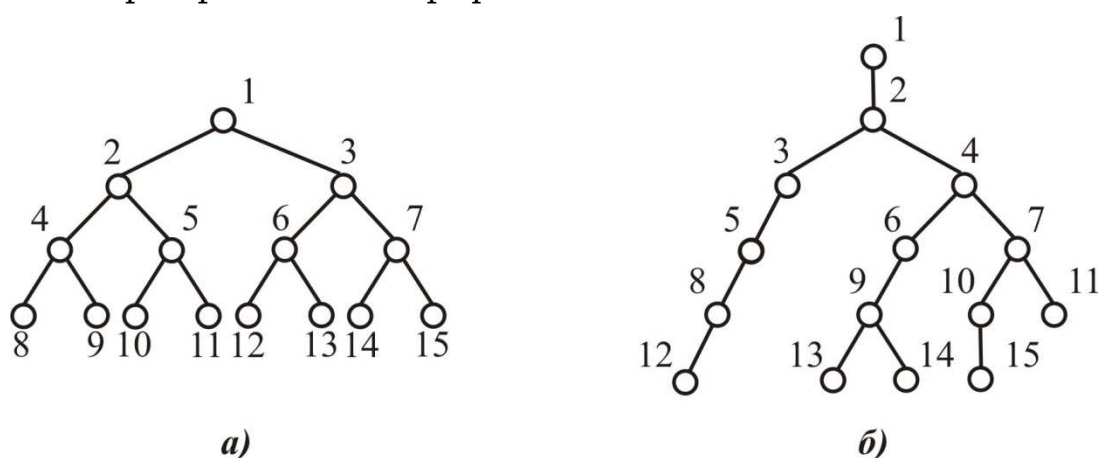


Рисунок 2 – а) исходное двоичное дерево; б) преобразованный граф

Выпишем, сопутствующие такому преобразованию выражения:

$$n = 1: \zeta(n) = \lfloor 1 \cdot (0 + 1) / 2 \rfloor = 0; \quad \psi(n) = \lfloor \sqrt{\zeta(n)} \rfloor = \lfloor \sqrt{0} \rfloor = 0;$$

(вершина 1 является корневой);

$$n = 2: \zeta(n) = [2 \cdot (1+1)/2] = 2; \quad \psi(n) = [\sqrt{2}] = [1,4] = 1 \Rightarrow 2 \prec 1;$$

$$n = 3: \zeta(n) = [3 \cdot (2+1)/2] = 4,5; \quad \psi(n) = [\sqrt{4,5}] = [2,12] = 2 \Rightarrow 3 \prec 2;$$

$$n = 4: \zeta(n) = [4 \cdot (3+1)/2] = 8; \quad \psi(n) = [\sqrt{8}] = [2,88] = 2 \Rightarrow 4 \prec 2;$$

$$n = 5: \zeta(n) = [5 \cdot (4+1)/2] = 12,5; \quad \psi(n) = [\sqrt{12,5}] = [3,53] = 3 \Rightarrow 5 \prec 3;$$

$$n = 6: \zeta(n) = [6 \cdot (5+1)/2] = 18; \quad \psi(n) = [\sqrt{18}] = [4,2] = 4 \Rightarrow 6 \prec 4;$$

$$n = 7: \zeta(n) = [7 \cdot (6+1)/2] = 24,5; \quad \psi(n) = [\sqrt{24,5}] = [4,94] = 4 \Rightarrow 7 \prec 4;$$

$$n = 8: \zeta(n) = [8 \cdot (7+1)/2] = 32; \quad \psi(n) = [\sqrt{32}] = [5,65] = 5 \Rightarrow 8 \prec 5;$$

.....

$$n = 15: \zeta(n) = [15 \cdot (14+1)/2] = 112,5; \quad \psi(n) = [\sqrt{112,5}] = [10,6] = 10 \Rightarrow 15 \prec 10.$$

Рассмотрение преобразованного графа показывает, что искомое перераспределение нормы управляемости произошло. Например, если в исходном графе вершине 4 подчинялись вершины 8 и 9, то в преобразованном графе ей подчиняются уже вершины 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15.

2. Моделирование задачи укрупнения организационных структур

На рис. 3 (а-в) представлены соответственно три исходные структуры и их функции подчинения (П-функции $\varphi_1(n)$, $\varphi_2(n)$, $\varphi_3(n)$), из которых необходимо создать одну структуру. Для этого воспользуемся операцией «укрупнение», имеющей вид: $\psi(n) = k \cdot \varphi(n)$, $k=2,3, \dots$.

Приведем необходимые преобразования.

$$n = 1: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(0) = 0 \Rightarrow (1\text{-ая вершина корневая});$$

$$n = 2: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(0) = 0 \Rightarrow (2\text{-ая вершина корневая});$$

$$n = 3: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(0) = 0 \Rightarrow (3\text{-ая вершина корневая});$$

$$n = 4: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(1) = 2 \Rightarrow 4 \prec 2;$$

$$n = 5: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(1) = 2 \Rightarrow 5 \prec 2;$$

$$n = 6: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(1) = 2 \Rightarrow 6 \prec 2;$$

$$n = 7: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(2) = 4 \Rightarrow 7 \prec 4;$$

$$n = 8: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(2) = 4 \Rightarrow 8 \prec 4;$$

$$n = 9: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(3) = 6 \Rightarrow 9 \prec 6;$$

$$n = 10: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(3) = 6 \Rightarrow 10 < 6;$$

$$n = 11: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(3) = 6 \Rightarrow 11 < 6;$$

$$n = 12: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(5) = 10 \Rightarrow 12 < 10;$$

$$n = 13: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(5) = 10 \Rightarrow 13 < 10;$$

$$n = 14: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(5) = 10 \Rightarrow 14 < 10;$$

$$n = 15: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(8) = 16;$$

$$n = 16: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(8) = 16.$$

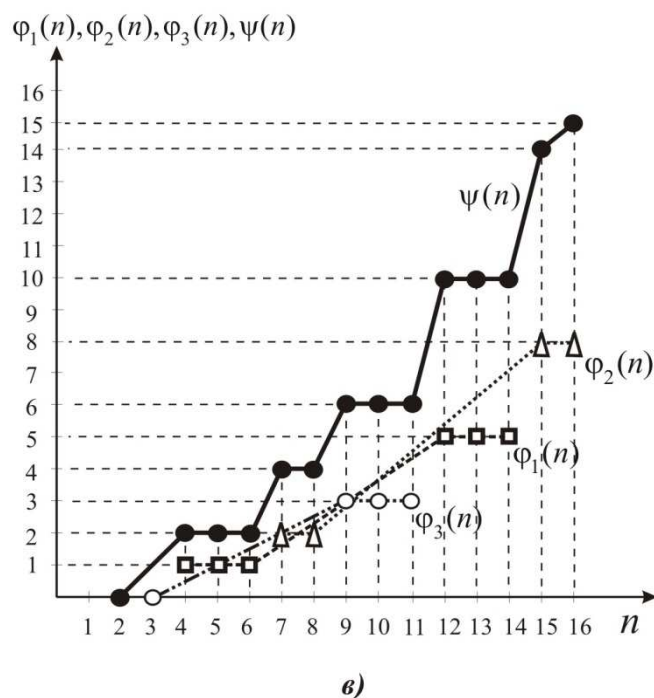
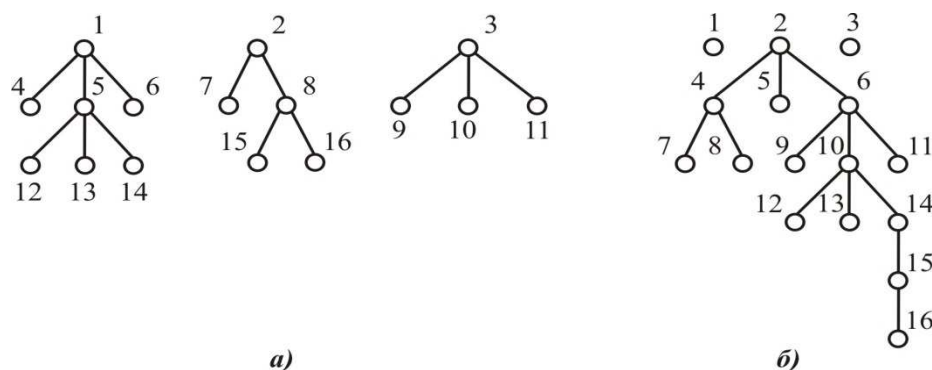


Рисунок 3 – Графическое представление процедуры укрупнения структур:

а) исходные структуры; б) укрупненная структура;

в) П-функции структур

В двух последних выражениях для $n=15$ и $n=16$, полученные функции $\psi(n)$ нарушают условия её существования, т.е. $\psi(n) > n$. По-

этому, исходя из [1,2] воспользуемся процедурой её доопределения, а именно: $\psi(n) = (n-1)$.

Тогда выражения для $n=15$ и $n=16$ можно представить в таком виде:

$$n = 15: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(8) = 16 \Rightarrow (n-1 = 15-1 = 14); 15 \prec 14;$$

$$n = 15: \psi(n) = 2 \cdot \varphi(8) = 16 \Rightarrow (n-1 = 15-1 = 15); 16 \prec 15;$$

На рис. 3, б представлен преобразованный граф, определяющий укрупненную структуру организации.

3. Моделирование процедуры укрупнения структуры организации с сокращением её состава

Для реализации такой процедуры используем операцию «укрупнение с сокращением», которая представлена следующим выражением: $\psi(n) = \varphi(k \cdot n)$, $k=2,3,\dots$. Данная операция уменьшает число вершин дерева с одновременным увеличением числа уровней иерархии. На рис. 4 (а, б) представлены пять исходных структур и их функции подчинения.

Выполним преобразования исходных структур для $k=2$ и $k=3$.

Для $k=2$ имеем:

$$n = 1: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 1) = 0 \Rightarrow (1\text{-ая вершина корневая});$$

$$n = 2: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 2) = 0 \Rightarrow (2\text{-ая вершина корневая});$$

$$n = 3: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 3) = 1 \Rightarrow 3 \prec 1;$$

$$n = 4: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 4) = 2 \Rightarrow 4 \prec 2;$$

$$n = 5: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 5) = 2 \Rightarrow 5 \prec 2;$$

$$n = 6: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 6) = 3 \Rightarrow 6 \prec 3;$$

$$n = 7: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 7) = 3 \Rightarrow 7 \prec 3;$$

$$n = 8: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 8) = 4 \Rightarrow 8 \prec 4;$$

$$n = 9: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 9) = 4 \Rightarrow 9 \prec 4;$$

$$n = 10: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 10) = 5 \Rightarrow 10 \prec 5;$$

$$n = 11: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 11) = 5 \Rightarrow 11 \prec 5;$$

$$n = 12: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 12) = 5 \Rightarrow 12 \prec 5;$$

$n=13: \psi(n) = \varphi(2 \cdot 13)$ – не существует.

Аналогично для $n=14 \div 25$ функция $\psi(n)$ не существует.

Для $k=3$ имеем:

$n=1: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 1) = 0 \Rightarrow$ (1-ая вершина корневая);

$n=2: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 2) = 1 \Rightarrow 2 \prec 1;$

$n=3: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 3) = 2 \Rightarrow 3 \prec 2;$

$n=4: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 4) = 3 \Rightarrow 4 \prec 3;$

$n=5: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 5) = 4 \Rightarrow 5 \prec 4;$

$n=6: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 6) = 4 \Rightarrow 6 \prec 4;$

$n=7: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 7) = 5 \Rightarrow 7 \prec 5;$

$n=8: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 8) = 5 \Rightarrow 8 \prec 5;$

$n=9: \psi(n) = \varphi(3 \cdot 9)$ – не существует.

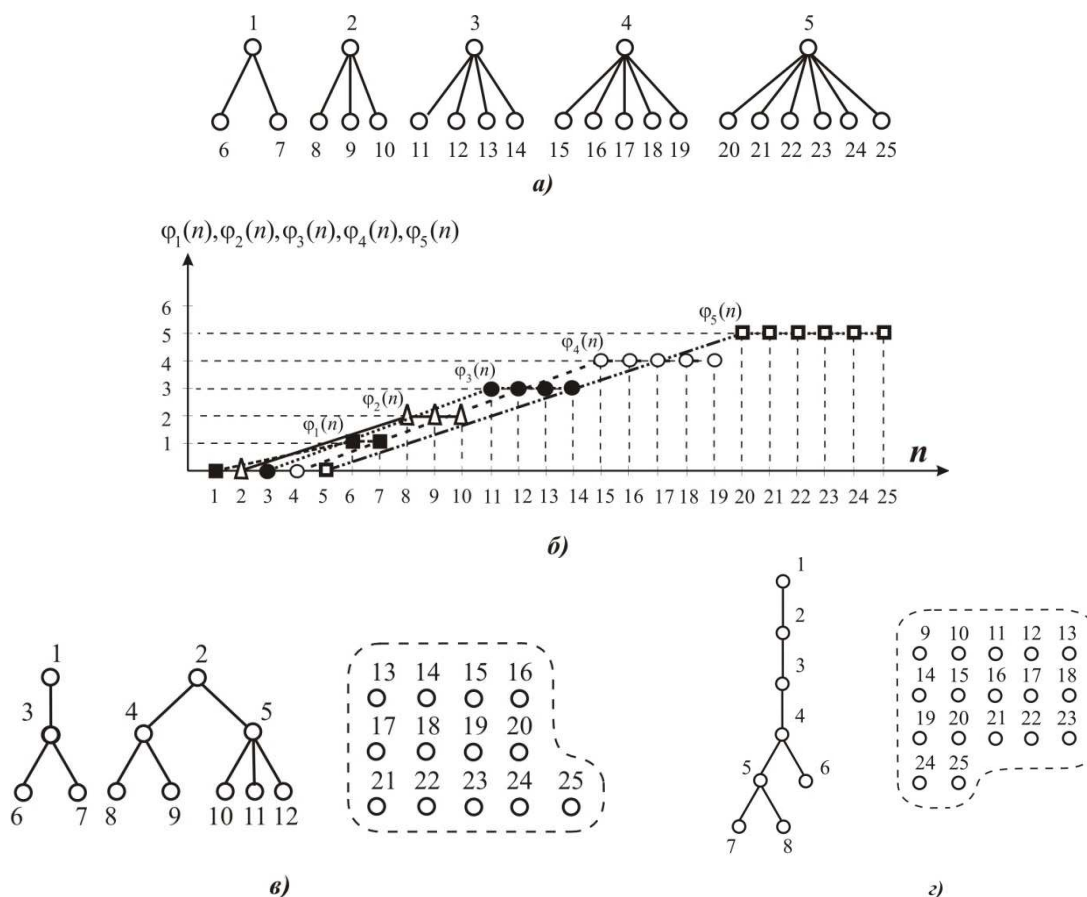


Рисунок 4 – Графическое представление процедуры укрупнения структур:

а) исходные графы; б) П-функции структур;

в) укрупненная структура с сокращением состава для $k=2$;

г) укрупненная структура с сокращением состава для $k=3$

Для вершин $n=10\div 25$ функция $\psi(n)$ также не существует.

Результирующие графы представлены на рис. 4 (в, г). Первый из них иллюстрирует появление двух деревьев (вместо пяти), а также наличие несвязных («рассыпанных») вершин $13\div 25$. Во втором случае ($k=3$) получена одна структура, причем число несвязных вершин увеличилось ($9\div 25$). Появление указанных вершин может быть интерпретировано, как сокращение состава организации.

Выводы.

Рассмотрен подход, направленный на создание технологий имитационного моделирования задач управления иерархическими организационными системами с применением методов графодинамики, в основе которых лежат целенаправленные операции над графами. Математический аппарат данной теории при формализации каких-либо общих принципов или «законов жизни» иерархической структуры (содержательной трактовкой) позволяет описывать различные изменения таких структур. Выигрыш при этом видится, прежде всего, в снижении вычислительных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков. – М.: «ЛИБРОКОМ», 2009. – 264 с.
2. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 2-е изд. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
3. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (основы графодинамики) – I / А. Айзерман, Л. А. Гусев, С. В. Петров, Смирнов И.Н. // Автоматика и телемеханика. - М.: «Наука». - 1977. - № 7. - С.135-151.
4. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (основы графодинамики) – II / А. Айзерман, Л. А. Гусев, С. В. Петров, Смирнов И.Н. // Автоматика и телемеханика. - М.: «Наука». - 1977. - № 9. - С.123-136.
5. Графодинамическое моделирование структур организационных систем / И.И. Коваленко, М.В. Донченко, А.В. Швед [и др.]. – Николаев: Илион, 2012. – 64с. – (Препринт / Илион, 2012).
6. Тененбаум Л.А. Исследование одного класса графодинамических систем / Л.А. Тененбаум // Автоматика и телемеханика. – 1977. - №10. – С.153 – 173.

М.В. Заморёнов, С.Е. Голиков

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ БАНКОВСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Аннотация. Показана роль операционных рисков в общей структуре банковских рисков. С целью снижения информационно-технологических рисков описана адаптивная программная инфраструктура банковской автоматизированной системы. Предложена имитационная модель функционирования сервера приложений, для которого реализовано резервирование замещением, т.е. при отказе одного сервера обслуживание передается на следующий сервер.

Ключевые слова: автоматизированная банковская система, адаптивная программная инфраструктура, сервер приложений, имитационная модель, операционные риски.

Введение

В настоящее время невозможно представить проведение каких-либо банковских операций без автоматизированной информационной системы. В то же время сбои в системе автоматизации банков вносят значительный вклад в величину операционного [6] или операционно-технологического риска по классификации НБУ [4]. Исследования последних лет [1] говорят о том, что основной причиной потерь финансовых организаций значительных денежных сумм, становятся операционные риски. Таким образом, защита информационных систем от влияния операционных рисков выходит на первый план. Следовательно, разработка и внедрение механизмов, позволяющих минимизировать операционные риски финансовых учреждений, является актуальным направлением для исследований в условиях глобализации финансовых услуг наряду с возрастающей сложностью применяемых в них информационных технологий.

Под архитектурной устойчивостью к сбоям понимается создание такой архитектуры приложения, которая отвечает всем техническим и операционным требованиям и обеспечивает оптимальные про-

изводительность, доступность, надежность и безопасность. Отказоустойчивость является одним из важнейших требований к информационной системе. Хорошая архитектура существенно снижает операционные риски, связанные с созданием и функционированием программной системы. Архитектура программного обеспечения систем автоматизации банков представляет собой комплекс, состоящий из набора компонентов, выполняющих определенную функцию или набор функций. Современные банковские системы представляют собой совокупность различных архитектурных стилей. Наиболее часто используемая архитектурная парадигма – клиент-серверная (N-уровневая) с элементами компонентной и многоуровневой. Клиент-серверная (N-уровневая) архитектура позволяет разнести инфраструктурные элементы на разные физические компьютеры, повышая отказоустойчивость всей системы, обеспечивая централизованный доступ к данным и простоту обслуживания, а компонентная архитектура упрощает функциональное наращивание путем повторного использования логических компонентов. Многослойность позволяет разделить логику представления от бизнес-логики и логики доступа к данным, что обусловлено требованиями банковской безопасности. В качестве модели взаимодействия на уровне представления в основном применяется шаблон представления с разделением (модель – представление – контроллер). В отечественных банковских системах, как правило, применяется трехуровневая архитектура, в которой программные сегменты физически размещены на разных компьютерах. Для связи между элементами программной инфраструктуры используются сообщения. Характеристиками такой архитектуры являются функциональная декомпозиция программной системы, распределенное развертывание, что обеспечивает повышенную масштабируемость, доступность, управляемость и эффективность использования ресурсов. Каждый уровень функционально изолирован от других, кроме тех, с которыми он непосредственно соседствует. Бизнес-слой в данной архитектуре развернут на сервере приложений, слой представления – на клиентских компьютерах, а сами данные – в базе данных, что повышает конфиденциальность и безопасность. Размещение бизнес-логики на отдельном сервере гарантирует доступность изменений для всех пользователей системы, изменения в настройках производятся централизованно, ответственность за аутентификацию пользователей пе-

реносится с потенциально небезопасного клиентского уровня на уровень сервера приложений, скрывая уровень базы данных.

Основной проблемой централизованной обработки является гарантированность сервера приложений, так как в случае его выхода из строя клиенты не смогут получить доступ к приложению. Обычно, заданная величина отказоустойчивости достигается либо средствами операционной системы, либо средствами СУБД, либо применением аппаратных решений, что требует достаточно высокой квалификации персонала и значительных денежных затрат.

В работе [2] предложена динамически настраиваемая инфраструктура системы автоматизации банков. Суть предлагаемого решения состоит в применении резервирования для сервера приложений, осуществляющего функции обработки бизнес - логики и доступа к данным, хранящихся в базе данных. При выходе из строя основного сервера приложений, клиентское приложение автоматически подключается к одному из резервных серверов приложений, обеспечивая доступность данных. Повышенная живучесть архитектуры обеспечивается возможностью транслировать клиентские запросы в случае выхода из строя всех серверов приложений непосредственно к используемой СУБД. Логическая схема сервера приложений приведена на рисунке 1.

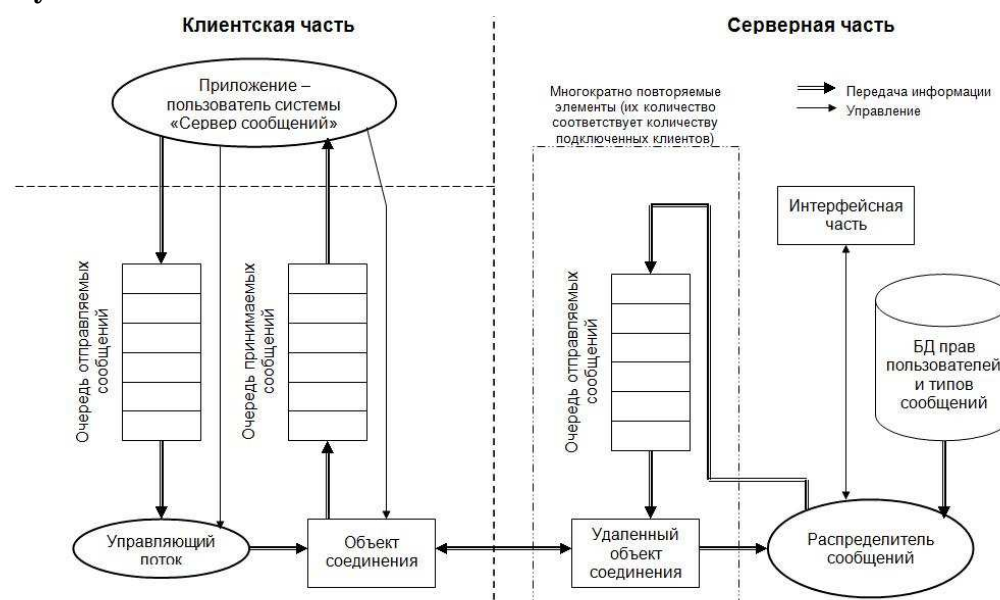


Рисунок 1 – Логическая схема сервера приложений

В данной архитектуре используется резервирование замещением, при котором резервный сервер приложений включается в работу

автоматически при перенаправлении на него запросов от клиентских приложений.

Постановка и решение задачи

Необходимо построить имитационную модель адаптивной банковской системы, наиболее уязвимым звеном которой является сервер приложений. Модель подразумевает, что отказавшие элементы заменяются (ремонтируются), а устройство обеспечения резервирования имеет нулевую вероятность отказа (надежность устройства обеспечения резервирования включена в надежность элементов резервирования), также принято, что математическое ожидание времени обработки запросов, наработки на отказ и восстановления серверов одинаковое.

Целью построения имитационной модели является определение коэффициента использования серверов приложений различных уровней резервирования при заданных параметрах надежности и производительности.

Сервер приложений можно рассматривать как дискретную стохастическую систему с постоянной структурой. Любая подобная система неизбежно испытывает различные возмущения, источниками которых могут быть либо внешние воздействия, обусловленные случайными или систематическими изменениями окружающих условий, либо внутренние флуктуации, возникающие в самой системе в результате взаимодействия элементов. При исследовании эти системы обычно представляются в виде стохастических моделей дискретных процессов. Несмотря на успешное применение методов аналитического моделирования, достаточно эффективным методом исследования таких систем остается имитационное моделирование на ЭВМ с применением специализированных систем.

Система GPSS предоставляет пользователю законченную высокоуровневую информационную технологию создания имитационных моделей [3, 5]. В этой системе имеются средства формализованного описания параллельных дискретных процессов в виде условных графических изображений или с помощью операторов собственного языка. Координация процессов осуществляется автоматически в едином модельном времени. Пользователь в случае необходимости может ввести свои правила синхронизации событий. Имеются средства управления моделью, динамической отладки и автоматизации обработки

Законы распределения времени обслуживания единицы продукции, наработки на отказ и восстановления ячейки полагаются экспоненциальными.

Время моделирования принимается 4 месяца, единица модельного времени – 1 мин.

При реализации данной задачи была использована система имитационного моделирования GPSS World Student version 5.2.2.

Текст программы, приведенный ниже, снабжен комментариями и дополнительных пояснений не требует.

GPSS World File – Модель функционирования сервера приложений.

Единица модел. времени – 1 мин

```
mat_zapr      EQU 0.01 ;
Математическое ожидание времени запроса
mat_obr EQU 1 ; Математическое ожидание времени обработки
mat_otk EQU 1000; Математическое ожидание времени наработки на
отказ
mat_vost EQU 100 ;
Математическое ожидание времени восстановления
schetchik EQU 1 ; Номер генератора случайных чисел
serv1 storage 100 ; Ёмкость первого сервера приложений
serv2 storage 100 ; Ёмкость второго сервера приложений
serv3 storage 100 ; Ёмкость третьего сервера приложений
serv4 storage 100 ; Ёмкость четвертого сервера приложений
serv5 storage 100 ; Ёмкость пятого сервера приложений
generate      (Exponential(schetchik,0,mat_zapr)) ;
Генерация запросов
queue och1 ; Постановка запросов в очередь
;первый сервер
met1gate sv serv1,met2 ; проверка работоспособности первого сервера
enter serv1 ; поступления запроса на первый сервер
depart och1 ; освобождение очереди
advance (Exponential(schetchik,0,mat_obr)) ; обработка запроса
leave serv1 ; запрос покидает сервер
transfer ,mett ; окончание запроса (удаление запроса из системы)
;второй сервер
met2gate sv serv2,met3 ; проверка работоспособности второго сервера
enter serv2 ; поступления запроса на второй сервер
depart och1 ; освобождение очереди
advance (Exponential(schetchik,0,mat_obr)) ; обработка запроса
leave serv2 ; запрос покидает сервер
transfer ,mett ; окончание запроса (удаление запроса из системы)
;третий сервер
met3gate sv serv3,met4 ; проверка работоспособности третьего сервера
enter serv3 ; поступления запроса на третий сервер
```



```

depart och1 ; освобождение очереди
advance (Exponential(schetchik,0,mat_obr)) ; обработка запроса
leave serv3 ; запрос покидает сервер
transfer ,mett ; окончание запроса (удаление запроса из системы)
;четвертый сервер
met4gate sv serv4,met5 ; проверка работоспособности четвертого сервера
enter serv4 ; поступления запроса на четвертый сервер
depart och1 ; освобождение очереди
advance (Exponential(schetchik,0,mat_obr)) ; обработка запроса
leave serv4 ; запрос покидает сервер
transfer ,mett ; окончание запроса (удаление запроса из системы)
;пятый сервер
met5gate sv serv5,mett ; проверка работоспособности пятого сервера
enter serv5 ; поступления запроса на пятый сервер
depart och1 ; освобождение очереди
advance (Exponential(schetchik,0,mat_obr)) ; обработка запроса
leave serv5 ; запрос покидает сервер
transfer ,mett ; окончание запроса (удаление запроса из системы)
mett terminate
;отказ первого сервера
generate ,,,1
mot1 seize otk1 ; в данном устройстве
advance (Exponential(1,0,mat_otk)) ; имитируется наработка
release otk1 ; на отказ первого сервера
seize vos1 ; в данном устройстве имитируется восстановление
sunavail serv1 ; первый сервер становится недоступен
advance (Exponential(1,0,mat_vost)) ; восстановление
savail serv1 ; первый сервер становится доступен
release vos1 ; окончание восстановления
transfer ,mot1 ; начало наработки на новый отказ
;отказ второго сервера
generate ,,,1
mot2 seize otk2 ; в данном устройстве
advance (Exponential(1,0,mat_otk)) ; имитируется наработка
release otk2 ; на отказ второго сервера
seize vos2 ; в данном устройстве имитируется восстановление
sunavail serv2 ; второй сервер становится недоступен
advance (Exponential(1,0,mat_vost)) ; восстановление
savail serv2 ; второй сервер становится доступен
release vos2 ; окончание восстановления
transfer ,mot2 ; начало наработки на новый отказ
;отказ третьего сервера
generate ,,,1
mot3 seize otk3 ; в данном устройстве
advance (Exponential(1,0,mat_otk)) ; имитируется наработка
release otk3 ; на отказ третьего сервера
seize vos3 ; в данном устройстве имитируется восстановление
sunavail serv3 ; третий сервер становится недоступен
advance (Exponential(1,0,mat_vost)) ; восстановление

```

```

savail serv3 ; третий сервер становится доступен
release vos3 ; окончание восстановления
transfer ,mot3 ; начало наработки на новый отказ
;отказ четвертого сервера
generate ,,,1
mot4 seize otk4 ; в данном устройстве
advance (Exponential(1,0,mat_otk)) ; имитируется наработка
release otk4 ; на отказ четвертого сервера
seize vos4 ; в данном устройстве имитируется восстановление
sunavail serv4 ; четвертый сервер становится недоступен
advance (Exponential(1,0,mat_vost)) ; восстановление
savail serv4 ; четвертый сервер становится доступен
release vos4 ; окончание восстановления
transfer ,mot4 ; начало наработки на новый отказ
;отказ пятого сервера
generate ,,,1
mot5 seize otk5 ; в данном устройстве
advance (Exponential(1,0,mat_otk)) ; имитируется наработка
release otk5 ; на отказ пятого сервера
seize vos5 ; в данном устройстве имитируется восстановление
sunavail serv5 ; пятый сервер становится недоступен
advance (Exponential(1,0,mat_vost)) ; восстановление
savail serv5 ; пятый сервер становится доступен
release vos5 ; окончание восстановления
transfer ,mot5 ; начало наработки на новый отказ
generate 172800 ; счетчик времени (4 месяца непрерывной ра-
боты)
terminate 1

```

Результаты моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты моделирования

Исходные данные				Результаты моделирования				
Попл. запро-са, мин	Обра-ботка запроса, мин	Отказ серверов, мин	Вос-стан. сервера, мин	Кэфф. исп. сервера №1	Кэфф. исп. сервера №2	Кэфф. исп. сервера №3	Кэфф. исп. сервера №4	Кэфф. исп. сервера №5
0,01	1	100	1000	0,918	0,075	0,007	0,001	0
0,025	5	100	1000	0,914	0,064	0,016	0,001	0
0,1	10	100	1000	0,892	0,097	0,009	0,001	0

Выводы

Построенная имитационная модель функционирования адаптивной автоматизированной банковской информационной системы с резервированием позволяет получить коэффициенты использования серверов приложений, при помощи которых планируется определять целесообразность использования определенного количества резервных серверов, исходя из возможных потерь при отказе одновременно

всей структуры. Как видно из таблицы 1, при использовании одного сервера приложений без резерва приводит при первом варианте исходных данных к потерям 8,2% запросов. В тоже время, если использовать хотя бы один из них, потери снижаются и составляют 0,8%, что может составлять достаточно большую сумму, в зависимости от стоимости одного запроса. В дальнейшем планируется построение аналитической модели функционирования такой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. 2012 ORX Report on Operational Risk Loss Data. /Электронный ресурс. <http://www.orx.org/Pages/orxdata.aspx>
2. Голиков С.Е. Применение динамически настраиваемой инфраструктуры системы автоматизации банков с целью минимизации операционных рисков. /С.Е. Голиков//Системы обработки інформації № 12 2012.
3. Томашевский В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS [Текст] / В.Н. Томашевский, Е.Г. Жданова. – М.: Бестселлер, 2003. — 416 с.
4. Филатов Б.Г. Определение операционного риска в банковской деятельности. Принципы управления./Б.Г. Филатов//Электронный ресурс. http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/pprbbsu/texts/2009_27/09_27_11.pdf
5. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS [Текст] / Т.Дж. Шрайбер ; [пер. с англ. В.И. Гарчера, И.Л. Шмуйловича]; под ред. М.А. Файнберг. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
6. The New Basel Capital Accord. Basel Committee on Banking Supervision. April 2003.
/Электронный ресурс.
http://www.oenb.at/de/img/cp3_overview_tcm14-13383.pdf

ESTIMATION OF RELIABILITY OF FUNCTIONING OF THE CONTROL-TESTING ELECTRONIC SYSTEMS WITH THE USE OF TASK ABOUT A MAXIMUM OF PRODUCT

Наведені результати аналітичних досліджень оцінки надійності і ефективності використання контролююче-керуючої електронної апаратури як складної технічної еволюціонуючої системи із застосуванням завдання про максимум множини. Дана класифікація чинників, які визначають ефективність електронного апаратного функціонування в різних врегулюваннях.

Ключові слова: Надійність, ефективність, електронна апаратура, контролююче-керуюча електронна система, еволюція.

Introduction. The modern control-testing electronic systems (ES) of any type it is expedient to estimate with the use of task about a maximum of product. In accordance with work [1], a task about a maximum of product is formulated as follows: it is necessary to find N non-negative numbers the sum of which does not excel the set number $a > 0$ and which have maximal work here.

Raising of task of researches. For ES, as one of the most technologically loaded managing elements of modern production this task can be formulated as follows:

Let: $0 < a \leq 1$ – total probability of accident-free work; $P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n$ – work faultless probabilities of work of ES subsystems ; n – number of ES subsystems.

Then the condition must be executed:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 < \sum_{i=1}^n P_i \leq 1 \\ \prod_{i=1}^n P_i \rightarrow \max \end{array} \right. . \quad (1)$$

Values $\sum_{i=1}^n P_i$ и $\prod_{i=1}^n P_i$ are phase coordinates, and aggregate of sizes $P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n$ – managing parameters.

If a condition (1) is executed, then betweenness by reliability and efficiency of functioning of ES optimally.

Thus, the purpose of the real work is research of possibilities of the use of task about a maximum of product as it applies to an estimation and calculation of reliability of functioning of control-testing electronic systems.

Basic part. For the optimal mode of functioning ES must be executed next terms:

$$\begin{cases} P_{i\text{pos}} \leq P_i(t) \leq 1 - P_i(t-1), \\ P_i(t) \in [P_{i\text{pos}}; 1] = \Omega \end{cases} \quad (2)$$

where Ω – management area.

If at every instant correlation (2) is executed, then a management is considered possible.

The change of level of reliability of functioning of ES it is expedient to examine as an additive casual process of change of probability of faultless work:

$$P(t) = P'(t) + P''(t), \quad (3)$$

where $P'(t)$ – stationary constituent of probability the faultless work; $P''(t)$ – stocastic constituent of probability the faultless work.

Any supervisory-managing ES is the difficult technical system, which can be conditionally divided on n subsystems functioning of which takes place simultaneously, thus they are united consistently.

We will consider that time t the discrete great number of values can accept only: $t = 0; 1, \dots, N$, thus N – time of continuous (faultless) work of ES.

Then a management can be expressed by means of next correlation:

$$\{P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)\}. \quad (4)$$

At every instant t the state of ES is characterized n by phase coordinates: $x_1, x_2, \dots, x_n$, id est by a point X of spase E^n . Thus, every moment of time t is the phase state $X(t)$ have n coordinates.

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 = \sum_{i=1}^l a_i(t), \\ J_2 = \sum_{j=1}^k b_j(t), \\ \dots\dots\dots \\ J_n = \sum_{h=1}^q d_h(t). \end{array} \right. \quad (8)$$

We will consider a stationary process which, using work [2], which will break up on $n = \frac{t}{\Delta t}$ intervals, where t duration of process; Δt – duration of interval.

We will designate P_1 – probability not exceeding of level x a process for time Δt . Then it is possible to write down next close expression: $P_x(t) \approx P_1^n$.

For the estimation of probability P_1 we use an estimation [3]:

$$P_x(t) \geq P_0 - N_x(t), \text{ при } t \leq P_0 [N_x(t)]^{-1}, \quad (9)$$

where P_0 – probability not exceeding of the set level in initial moment of time.

$$N_x(t) = \int_0^t n_x(\tau) d\tau, \quad (10)$$

where $n_x(\tau)$ – middle number of extrass in time unit for a level x .

Thus:

$$P_x(t) = (F_x - n_x \Delta t)^{t/\Delta t}, \quad (11)$$

where F_x – function of distribution of size x .

Putting $\Delta t = 1$, we will get:

$$P_x(t) = (F_x - n_x \Delta t)^t. \quad (12)$$

For a stationary process expression (12) can be rewritten in a kind:

$$P_x(t) = \exp[t \ln(F_x - n_x)]. \quad (13)$$

For a transient:

$$P_x(t) = \exp \left\{ \int_0^t \ln[F_x(\tau) - n_x(\tau)] d\tau \right\}. \quad (14)$$

At the ground of these dependences no suppositions were done about the law of distribution of ordinate of process and his duration. Therefore expression (14) can be used for the arbitrary process of any duration, that satisfies to the operating of ES conditions.

Thus, terms (1) and (6) are the terms of optimal betweenness by reliability and efficiency of functioning of control-testing ES.

Conclusions. An analytical way is get mathematical expressions, allowing to choose optimal betweenness safe and most effective the modes of exploitation of ES.

LITERATURA

1. Potseluev A.V. Statistical analysis and synthesis of the difficult dynamic systems / Potseluev A.B. – M.: Engeneering, 1984. – 208 p.
2. Chervoniy A.A. Reliability of the difficult systems. [issue. 2-nd, processed and add.] / Chervoniy A.A., Lukiyashenko V.I. – M.: Engineer, 1976. – 288 p.
3. Pereverzev E.S. Models of accumulation of damages are in the tasks of longevity / Pereverzev E.S. – K.: Nauk. dumka, 1995. – 360 p.

В.П. Малайчук, В.В. Огоренко, С.В. Клименко
**ОБРАБОТКА НЕЧЕТКИХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ
КОМПЬЮТЕРНОГО ПСИХОМЕТРИЧЕСКОГО
ТЕСТИРОВАНИЯ**

Предлагается методика повышенной информативности для обработки результатов психометрического тестирования как нечеткого множества логико-лингвистических ответов-решений на вопросы теста, и оценивать исследуемые свойства личности уровнями их принадлежности человеку и степени его нерешительности при принятии нечетких решений.

Ключевые слова: экстраверсия-интроверсия, нейротизм, психотизм, нечеткие логико-лингвистические ответы, функция принадлежности.

Состояние вопроса и постановка задачи

Человек как личность характеризуется различными индивидуальными показателями психики и психической деятельности, которые проявляются как нечеткие высказывания на вопросы и утверждения. Это эмоциональная нестабильность и стабильность (высокий и низкий невротизм), общительность и замкнутость (экстраинтроверсия), эгоизм и равнодушие (высокий и низкий психотизм), робость и смелость, доверчивость и подозрительность и многие другие свойства. Их можно рассматривать как нечеткие, размытые лингвистические переменные.

Одним из методов получения информации о состоянии психики человека, его характере и темпераменте является компьютерное тестирование: пациенту предлагается ответить на вопросы-утверждения, читаемые с экрана компьютера, которые содержат информацию о нем, как личности, единственной и неповторимой. Вопросы-утверждения тестов формируются таким образом, что ответы на них «Да» или «Нет», «Согласен» или «Не согласен» относятся к крайним значениям выраженности исследуемого нечеткого свойства или черты личности. В ряде тестов рассматриваются три варианта ответов-решений «Да», «Может быть», «Нет» или «Согласен», «Не уверен»,

«не согласен». Они тоже относятся к нечетким логико-лингвистическим высказываниям (решениям), как следствие индивидуальности и неопределенности процессов мышления и умозаключения людей.

Размытые нечетко сформулированные свойства психики предлагается описывать функцией принадлежности этих свойств данному человеку и значения их оценивать по результатам его тестирования. Каждый тест содержит авторские ответы-решения на предложенные автором вопросы-утверждения. Это ключ теста, указывающий на крайние значения выраженности исследуемого психического свойства (оно или есть, или его нет). Совпадение решения с ключом оценивается числом, а не совпадение – нулем.

Классический метод обработки результатов тестирования состоит в подсчете числа совпадений ответов с ключом. Каждому совпадению приписывается определенное число баллов, например, совпадает – это 1, не совпадает – это 0. Если ответы-решения трехвариантные, то совпадения оцениваются двумя баллами, неопределенность – одним баллом, а несовпадение – нуль баллов. Затем подсчитывается число набранных баллов n^* , сравнивается с пороговым значением n_0 и принимается следующие два решения: если $n^* \geq n_0$, то у данной личности это свойство имеет высокий уровень, если $n^* < n_0$, то это свойство отсутствует. При трехуровневом варианте ответов-решений устанавливают два порога принятия решений n_{01} и n_{02} : если $n^* > n_{01}$, то свойство оценивается как высокое; если $n_{02} < n^* < n_{01}$, то оно оценивается как средний уровень, если $n^* < n_{02}$, то предполагается отсутствие этого свойства. Классическая обработка не учитывает размытости свойств, нечеткости решений и неопределенности причинно-следственных связей между выраженностью исследуемого свойства психики и принимаемыми человеком нечеткими решениями. Рассмотрим обработку результатов тестирования, учитывающую причинно-следственные связи между размытостью свойств и нечеткость логико-лингвистических ответов.

Математическая модель психометрического тестирования

В психометрических тестах чаще всего выраженность психического свойства оценивается двумя или тремя нечеткими переменными: 1) высокий уровень, 2) средний уровень, 3) низкий уровень. Им

присваивается имя a, b, c . При тестировании используются два вида вопросов-утверждений, тексты которых характеризуют только высокий уровень исследуемого свойства. Это два вида симптомов: наличие первого a и отсутствие второго c свидетельствуют о высоком уровне исследуемого свойства психики.

Очевидно, что три переменные a, b и c можно рассматривать как причины, порождающие два (Да, Нет) или три (Согласен, Не уверен, Не согласен) нечеткие следствия – решения a^*, b^* и c^* . Причины, которые неизвестны, воздействуют на личность не непосредственно, а через вопросы-утверждения a и c . С учетом неуверенности b число причин, непосредственно порождающих решения a^*, b^* и c^* , (Согласен, Не уверен, Не согласен), четыре. Это aa , cc , cb и ab . Упростим их обозначения $aa = a$, $ab + cb = b$, $cc = c$. Тогда причины a, b, c порождают девять следствий – вариантов решений $a^*a, b^*b, c^*c, b^*a, c^*a, c^*b, a^*b, a^*c, b^*c$. Информация о уровне свойства a и c содержится в решениях a^*a, c^*c, c^*a и соответственно, нерешительности b в решениях b^*b, a^*b, b^*c . В решениях c^*a и a^*c не содержится информация о состояниях a и c , но есть косвенная информация о состоянии b .

Решения характеризуется информативностью. При классической методике обработки каждое из решений aa^* и cc^* оцениваются двумя баллами, а решение bb^* – одним баллом. Их сумма по всем решениям численно равна степени выраженности исследуемого свойства. В таблице 1 и 2 представлены для двух типов вопросов-утверждений варианты матриц информативности состояние-решение, в которых учитывается нечеткость знаний о психике, размытость решений и их причинно-следственных связей.

Таблица 1

$c \backslash p$	a_1	b_1	c_1	n_1
a^*	2	0,5	0	n_{a1}
b^*	0,5	1	0	n_{b1}
c^*	0	0,5	0	n_{c1}

Таблица 2

$c \backslash n$	a_2	b_2	c_2	n_2
a^*	0	0,5	0	n_{a2}
b^*	0	1	0,5	n_{b2}
c^*	0	0,5	2	n_{c2}

Результаты тестирования – это число совпадений решений $a^*a, b^*b_1, b^*b_2, c^*c$ с ключом теста $a^*a_1, b_1^*b, b_2^*b, c^*c_2$. По этим данным оценивается информативность свойства в баллах – высокий k3, средний k2 и низкий k1 уровень

$$k_3 = 2(n_{a1} + n_{c2}) + 0,5(n_{e1} + n_{e2}),$$

$$k_2 = (n_{e1} + n_{e2}) + 0,5(n_{a1} + n_{c2}),$$

$$k_1 = 0,5(n_1 - n_{a1} - n_{e1}) + 0,5(n_2 - n_{c2} - n_{e2}).$$

Для математического описания выраженности данного свойства психики используем функцию принадлежности этого свойства исследуемой личности $\pi(k)$, где k – число баллов по результатам психометрического тестирования. Математическую модель ее представим в виде

$$\pi(k) = \alpha_0 + \alpha_1 k + \alpha_2 k^2.$$

Эта функция должна обладать следующим свойством: ее значение равно нулю, если уровень свойства низкий; равна 0,5, если уровень свойства средний и равна 1, если уровень свойства самый высокий. При помощи этой функции нечеткие, размытые оценки выраженности психического свойства преобразуется в количественные показатели, позволяющие сравнивать между собой выраженности различных свойств и различных личностей, оценивать их изменения со временем.

Предположим, что известно число вопросов-утверждений теста первого и второго типа n_1 и n_2 , число совпадающих ответов-решений на эти вопросы $n_{a1}^*, n_{b1}^*, n_{c2}^*$ и n_{b2}^* , и несовпадающих n_{c1}^* и n_{a2}^* . Между ними имеет место соотношения: $n_{a1}^* + n_{b1}^* + n_{c1}^* = n_1$ и $n_{a2}^* + n_{b2}^* + n_{c2}^* = n_2$. Используя матрицу информативности и эти знания, определим число баллов, концентрирующих высокую выраженность исследуемого свойства k3, среднюю k2 и низкую k1.

Очевидно, что если при тестировании принимались только решения a^*a и c^*c_2 , то $n_{a1} = n_1$, $n_{c2} = n_2$, $k_3 = 2(n_1 + n_2) = 2n$, $k_2 = 0$, $k_1 = 0$ и $\pi(k_3) = 1$. Если были только решения b^*b_1 и b^*b_2 , то $k_2 = n_1 + n_2 = n$, $k_3 = 0$, $k_1 = 0$ и $\pi(k_2) = 0,5$ и если только a^*c_1 и a^*c_2 , то $k_1 = 0,5(n_1 + n_2) = 0,5n$, $k_3 = 0$, $k_2 = 0$ и $\pi(k_1) = 0$.

По этим данным оценим коэффициенты функции принадлежности $\alpha_2, \alpha_1, \alpha_0$, решив систему уравнений

$$\alpha_0 + \alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_1^2 = \pi(k_1) = \pi_1,$$

$$\alpha_0 + \alpha_1 k_2 + \alpha_2 k_2^2 = \pi(k_2) = \pi_2,$$

$$\alpha_0 + \alpha_1 k_3 + \alpha_2 k_3^2 = \pi(k_3) = \pi_3.$$

В результате получим

$$\alpha_2 = \frac{(\pi_3 - \pi_1)(k_3 - k_1) - (\pi_2 - \pi_1)(k_3 - k_1)}{(k_2 - k_1)(k_3^2 - k_1^2) - (k_3 - k_1)(k_2^2 - k_1^2)},$$

$$\alpha_1 = \frac{(\pi_2 - \pi_1)(k_3^2 - k_1^2) - (\pi_3 - \pi_1)(k_2^2 - k_1^2)}{(k_2 - k_1)(k_3^2 - k_1^2) - (k_3 - k_1)(k_2^2 - k_1^2)},$$

$$\alpha_0 = \pi_1 - \alpha_1 k_1 - \alpha_2 k_1^2.$$

Таблица 3

$\begin{matrix} c \\ n \end{matrix}$	a_1	b_1	c_1	n_1
a^*	1,75	0,25	0	n_{a1}
b^*	0,25	0,75	0	n_{b1}
c^*	0	0,25	0	n_{c1}

Таблица 4

$\begin{matrix} c \\ n \end{matrix}$	a_2	b_2	c_2	n_2
a^*	0	0,25	0	n_{a2}
b^*	0	1,75	0,25	n_{b2}
c^*	0	0,25	1,75	n_{c2}

Для первой матрицы (табл.3), если $k_1 = 0,5n$, то $\pi(k_1) = 0$, если $k_2 = n$, то $\pi(k_2) = 0,5$ и если $k_3 = 2n$, то $\pi(k_3) = 1$. В этом случае эталонная функция принадлежности исследуемого свойства имеет вид

$$\pi_1(k) = -\frac{2}{3} + \frac{3}{2n}k - \frac{1}{3n^2}k^2.$$

Модели эталонных функций принадлежности зависят от матриц информированности. Это априорные знания психиатров о причинно-следственных связях нечетких решений при различных видах расстройств психики.

Для второй матрицы (табл.4), если $k_1 = 0,25n$, то $\pi(k_1) = 0$, если $k_2 = 0,75n$, то $\pi(k_2) = 0,5$ и если $k_3 = 1,75n$, то $\pi(k_3) = 1$, то эталонная функция принадлежности имеет вид

$$\pi_2(k) = -\frac{5}{16} + \frac{4}{3n}k - \frac{1}{3n^2}k^2.$$

Графическое представление функций $\pi(k_1)$ и $\pi(k_2)$ показаны на рис. 1

Эмпирические функции принадлежности.

Исследуем зависимость оценок в баллах к3, к2 и к0 числа совпадающих с ключом теста решений aa^* , cc^* , bb^* и $0a^*$, $0c^*$. Если они равны n_{ac}^* , n_b^* , n_0^* соответственно, то $k_3 = 2n_{ac}^* + 0,5n_b^*$, $k_0 = 0$, $k_2 = n_b^* + 0,5n_0^* + 0,5n_{ac}^*$. Учитывая, что $n_{ac}^* + n_b^* + n_0^* = n$, где $n_{ac}^* = n$, $n_b^* = 2n$, $n_0^* = 0$, представим к3 и к2 в виде

$$k_3 = 0,5n + 1,5n_{ac}^* - 0,5n_0^*,$$

$$k_2 = n - 0,5n_{ac}^* - 0,5n_0^*.$$

Если $n_{ac}^* = n$, что соответствует самому высокому уровню исследуемого свойства, то к3 и к2 принимают максимальное и минимальное значения $k_3(\max) = 2n$ и $k_2(\min) = 0,5n$. Если $n_{ac}^* = 0$, $k_3(\min) = 0,5n - 0,5n_0^*$, $k_2(\max) = n - 0,5n_0^*$ и при значении $n_{ac}^* = 0,25n$ и они равны $k_3 = k_2$.

Представим эмпирические функции принадлежности высокого $\pi\left(\frac{n_{ac}^*}{k_3}\right)$ и среднего $\pi\left(\frac{n_{ac}^*}{k_2}\right)$ уровней исследуемого свойства в зависимости от числа совпадений высокого уровня n_{ac}^* для двух вариантов матриц информативности:

1) первый вариант ($n_0^* = 0$)

$$\pi_1\left(\frac{n_{ac}^*}{k_3}\right) = -\frac{2}{3} + \frac{3}{2n}k_3 - \frac{1}{3n^2}k_3^2; \quad k_3 = 0,5n + 1,5n_{ac}^*;$$

$$\pi_1\left(\frac{n_{ac}^*}{k_2}\right) = -\frac{2}{3} + \frac{3}{2n}k_2 - \frac{1}{3n^2}k_2^2; \quad k_2 = n - 0,5n_{ac}^*;$$

2) второй вариант ($n_0^* = 0$)

$$\pi_2\left(\frac{n_{ac}^*}{k_3}\right) = -\frac{5}{16} + \frac{4}{3n}k_3 - \frac{1}{3n^2}k_3^2; \quad k_3 = 0,25n + 1,5n_{ac}^*;$$

$$\pi_2\left(\frac{n_{ac}^*}{k_2}\right) = -\frac{5}{16} + \frac{4}{3n}k_2 - \frac{1}{3n^2}k_2^2; \quad k_2 = 0,75n - 0,5n_{ac}^*.$$

Функции, зависящие от k_3 , описывают уровень принадлежности пациенту исследуемого свойства, а степень его нерешительности при принятии решений в процессе тестирования описываются функ-

циями, зависящими от k_2 . Их графики совпадают и представлены на рис. 2.

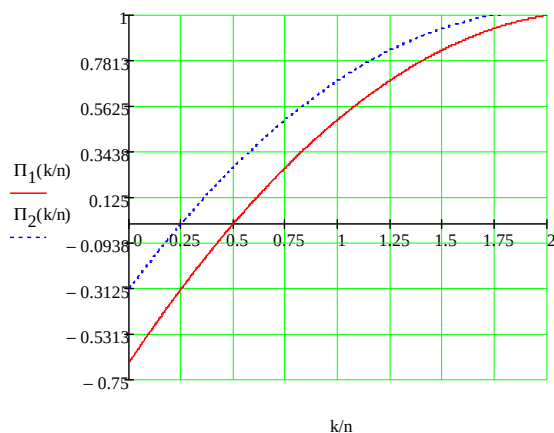


Рисунок 1 – Графическое представление функций принадлежности $\pi(k_1)$ и $\pi(k_2)$

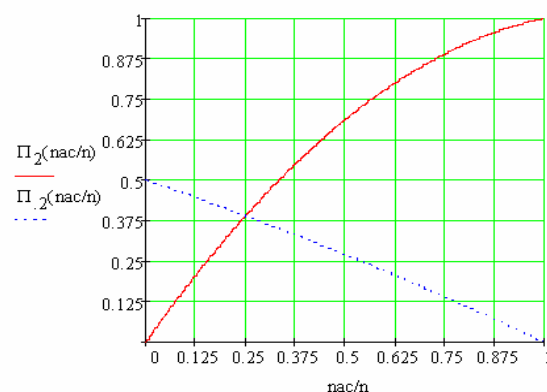


Рисунок 2. – Эмпирические функции принадлежности

Таким образом, из рассмотрения эмпирических функций следует, что информативность психометрического тестирования личности можно повысить, если ответы на вопросы или утверждения тестов рассматривать и обрабатывать как нечеткое множество лингвистических переменных и исследуемые психические свойства оценивать двумя показателями – уровнем их принадлежности человеку и степенью его нерешительности при принятии нечетких решений в процессе тестирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Огоренко В.В. Компьютерная психометрия психических расстройств // В.В. Огоренко, С.В. Клименко / ИВК: «Системные технологии». – НМетАУ. – Днепропетровск. – 2011г. – 163с.

V. Selivyorstov, T. Selivyorstova

OPTIMIZING THE DESIGN AND OUTER DIMENSIONS OF THE SEALING REFRIGERATOR USING COMPUTER MODELING TECHNOLOGIES

The results of computer simulation of solidification of steel castings in a metal mold using outdoor refrigerator presented. Influence of design features and material for outdoor refrigerator sealing process castings and die from carbon tool steel is defined.

Design, outdoor refrigerator, modeling, system simulation of casting processes «Polygon», solidification, sealing.

Introduction. One of the major structural components of the device for gas injection in the implementation of the gas-dynamic effects on the solidifying metal casting or ingot outer sealing a refrigerator. The shape, size, material and weight of this refrigerator has a direct influence on the duration and effectiveness of the entire process of gas-dynamic effects.

Analysis of previous publications. The developed technology may be used to produce castings of different configurations, made of different alloys [1 – 4]. For implementation of the process device used structurally tailored molding method, the configuration and mass of the casting material. In this case, all variants of the device suggest a principal elements such as gas pipeline, refrigerator and control system supply of compressed gas (fig. 1). After pouring the metal into the mold on the metal surface is dipped into the melt and the refrigerator produce shutter during a period of time required for the passage of the casting process, the sealing device for gas injection. Compressed gas is then fed. Thus, the liquid metal is cast and solidifies from the external gas source is adjustable pressure until complete solidification. Process occurs when sealing the casting due to the formation on the outer surface of the layer of solidified metal of such thickness that allows for gas-dynamic effects without the risk of breaking the sealing crust created under the influence of gas pressure within the casting.

Urgent task is to determine the thermo-time parameters of the casting process sealing device for gas injection and the degree of influence of external refrigerator [5 – 7]. This is possible when using the results of experimental studies (thermoelectric or pouring liquid residue), as well as in computer simulations that the most promising and effective.

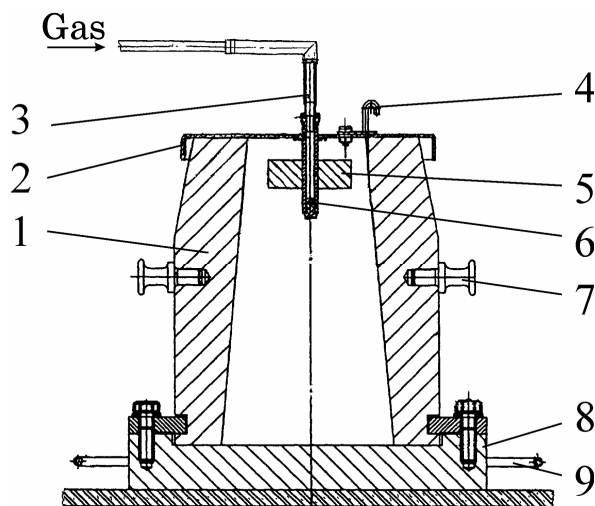


Fig. 1. Schema of the refrigerator with a disk-shaped (plate)
1 – mold, 2 – cover, 3 – gas pipeline, 4 – valve, 5 – fridge,
6 – removable gas supply pipe, 7 – pin, 8 – pan, 9 – staples

Urgent task is to determine the thermo-time parameters of the casting process sealing device for gas injection and the degree of influence of external refrigerator [5 – 7]. This is possible when using the results of experimental studies (thermoelectric or pouring liquid residue), as well as in computer simulations that the most promising and effective.

Therefore the **aim of the work** is a computer simulation sealing cylindrical castings of steel 35Л and X18Φ1Л variations in design and material for the outer fridge.

Main material research. Modeling was performed using computer modeling of casting processes «Polygon». Material steel refrigerator was 35Л and steel X18Φ1Л respectively. Fridge diameter of 100 mm, 200 mm and 300 mm. Each of the diameters correspond to the thickness of 10 mm, 20 mm and 30 mm. The initial temperature of the refrigerator: steel 35Л – 400 °C, steel X18Φ1Л – 350 °C.

Virtual thermocouples (fig. 2) allow us to study the process of solidification of the melt to determine the degrees of influence size refrigerator, its design features and thermal properties of thermal insulating

material inserts on the sealing process. Thus, the determined location of the casting in which solidification will take place more or less intensely.

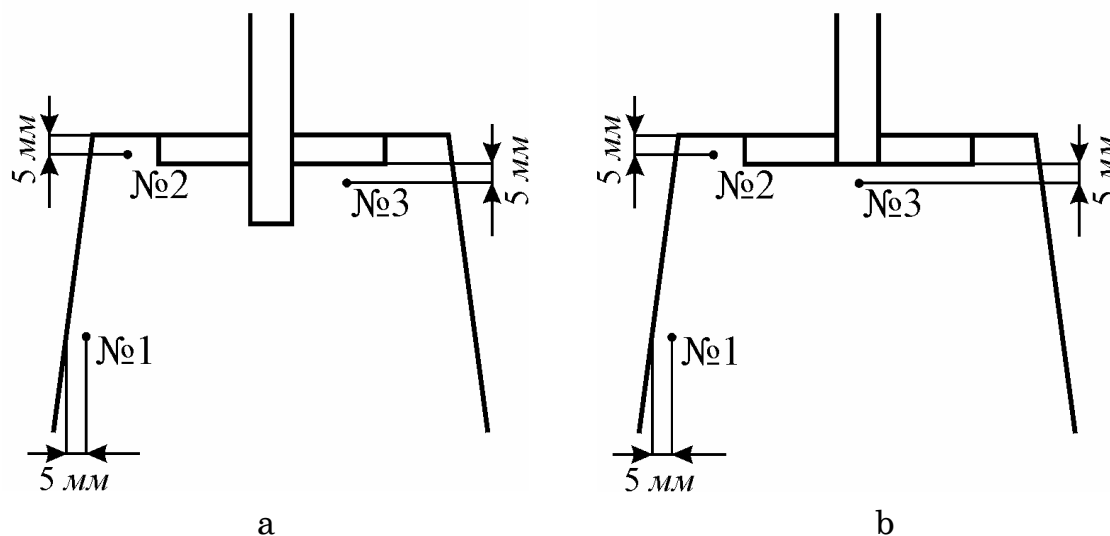


Fig. 2. Scheme metal refrigerator on gas supply pipe (a) and the body of the refrigerator with thermal insulating insert (b), and the location of virtual thermocouples (№ № 1 – 3)

For designs with an insert of insulating material the thickness of the refrigerator taken equal to 30 mm with a thickness of insulation material 10 and 25 mm. Materials for the insulating inserts and their heat conductivity are shown in table.

Table

Heaters and their thermal conductivity

№	Material	Thermal conductivity, ($W/m K$)
1	The two-component molding sand fly	0,35
2	Dry sand molding sand (10% clay)	1,28
3	Fireclay high alumina	5,40

On the solidification process is significantly affected by surface area of the metal, lockable refrigerator with the same thickness and the same insulation material: the larger the diameter, the longer the temperature of the metal is stored under the refrigerator, especially when used in insulation compared with its absence (fig. 3, 4). Labels T1, T2, T3 are indicated on the graphs curves corresponding thermocouples № № 1,2,3 respectively.

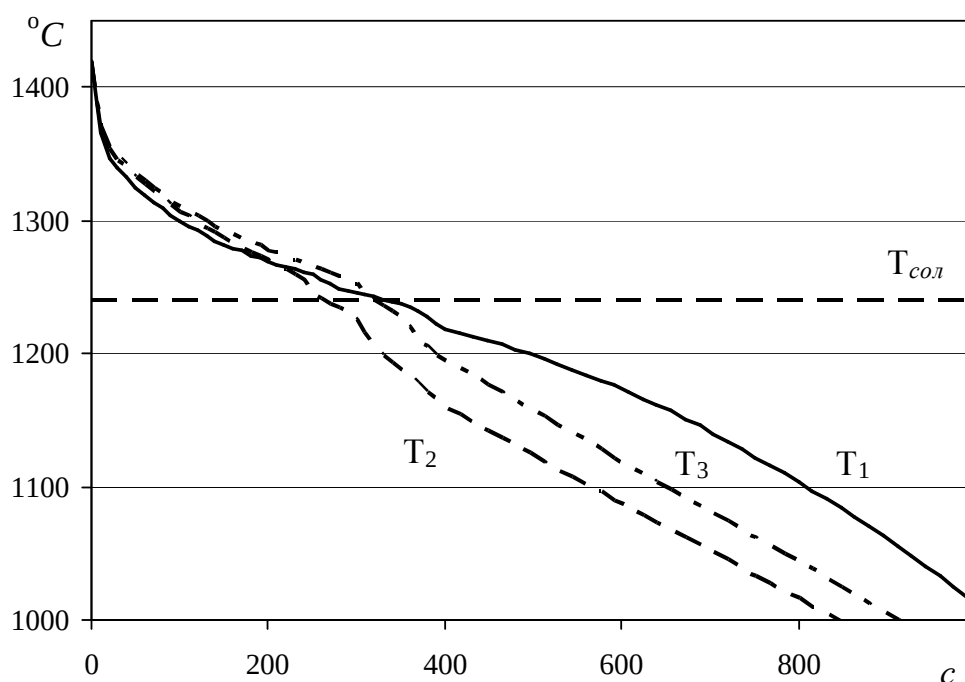


Fig. 3. Cooling curves of steel castings in X18Φ1Л locations thermocouples number number 1 - 3 using the all-metal refrigerator Ø100 mm, $h = 10$ mm

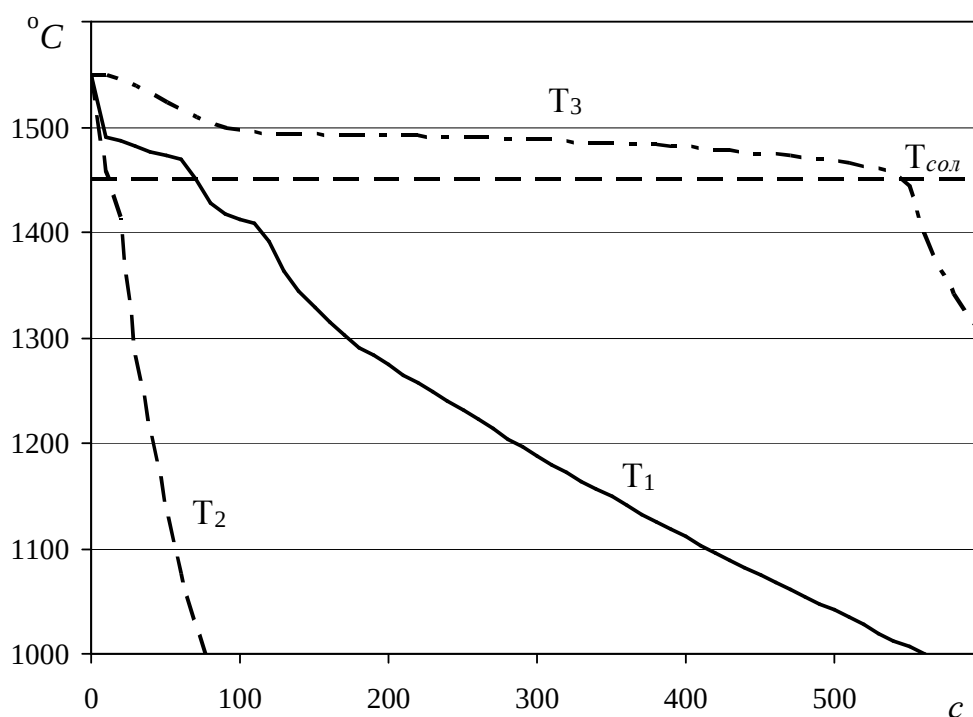


Fig. 4. Cooling curves of steel castings in 35Л locations thermocouples number 1 - 3 using the refrigerator Ø200 мм, $h = 10$ mm, with an insulator 1 $b = 25$ mm

In the simulation result, it was found that by choosing the design of the refrigerator and with the necessary insulating insert thermal

characteristics can be controlled within wide limits kinetics of solidification of the casting metal. Visualize the results of the calculation of the solidification process of castings and die from carbon tool steel using different design outdoor refrigerators clearly confirm this (fig. 5, 6).

These figures 3 – 6 show a significant difference in the time of solidification of the melt in the case of a refrigerator for use as insulation in a two fly moldable mixture compared to other materials. This reduces the overhead metal loss due to freezing of the surface of the refrigerator, but also significantly improve the thermal regime and solidification of the gas-dynamic effects.

Conclusions

1. The simulation process of sealing the cylindrical form casting of steel 35Л, X18Φ1Л shake out the chill in the steel with all-metal and composite outdoor refrigerator 100 mm diameter 150 mm, 200 mm, 10 mm, 20 mm and 30 mm with rubber insulating materials with different thermal conductivity thickness 10 mm and 25 mm. Found that choosing a design and a refrigerator box with the necessary thermal insulation thermal characteristics can be adjusted over a wide range of solidification kinetics of metal casting.

2. It has been established that the process of molding sealing device for gas injection is the most effective if the gas supply to the moment on the inner surface of the refrigerator, which covers the mirror metal absent accretion of metal casting, wherein, during solidification of the melt in the gap between the refrigerator and the side surface of the working the mold cavity should be minimal and correspond to the time of formation of solidified metal layer on the rest of the surface area of the casting.

3. Modeling «Polygon» sealing process in the die castings average diameter of 240 mm and a height of 350 - 370 mm and die from carbon tool steel showed the benefits of using a combined outdoor refrigerator with inserts of different insulating materials in comparison with tsel-nometalevim fridge, as well as efficiency developed a two-component composition of insulation fly moldable mixture with low thermal conductivity (0.35 (W/mK)). This helps reduce the metal content of the refrigerator at 20 – 40% while reducing its dimensions, which in turn reduces the metal content of the device for gas injection.

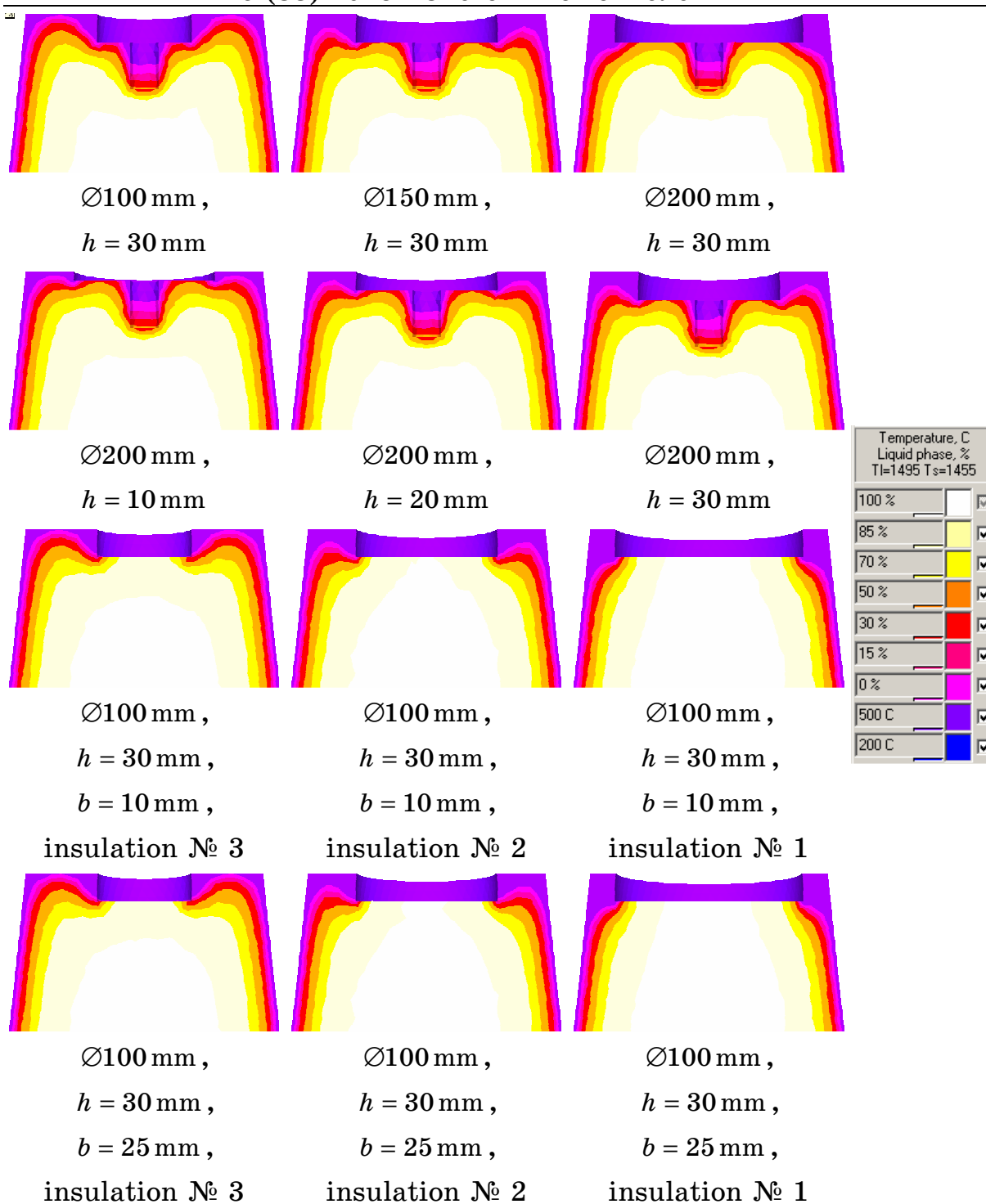


Fig. 5. The temperature distribution in the cross section steel 35JI castings at sealing (80 seconds of the end of the fill) in diameter and thickness variation (h) outdoor refrigerator, as well as the presence (or absence) of insulation layer (b)

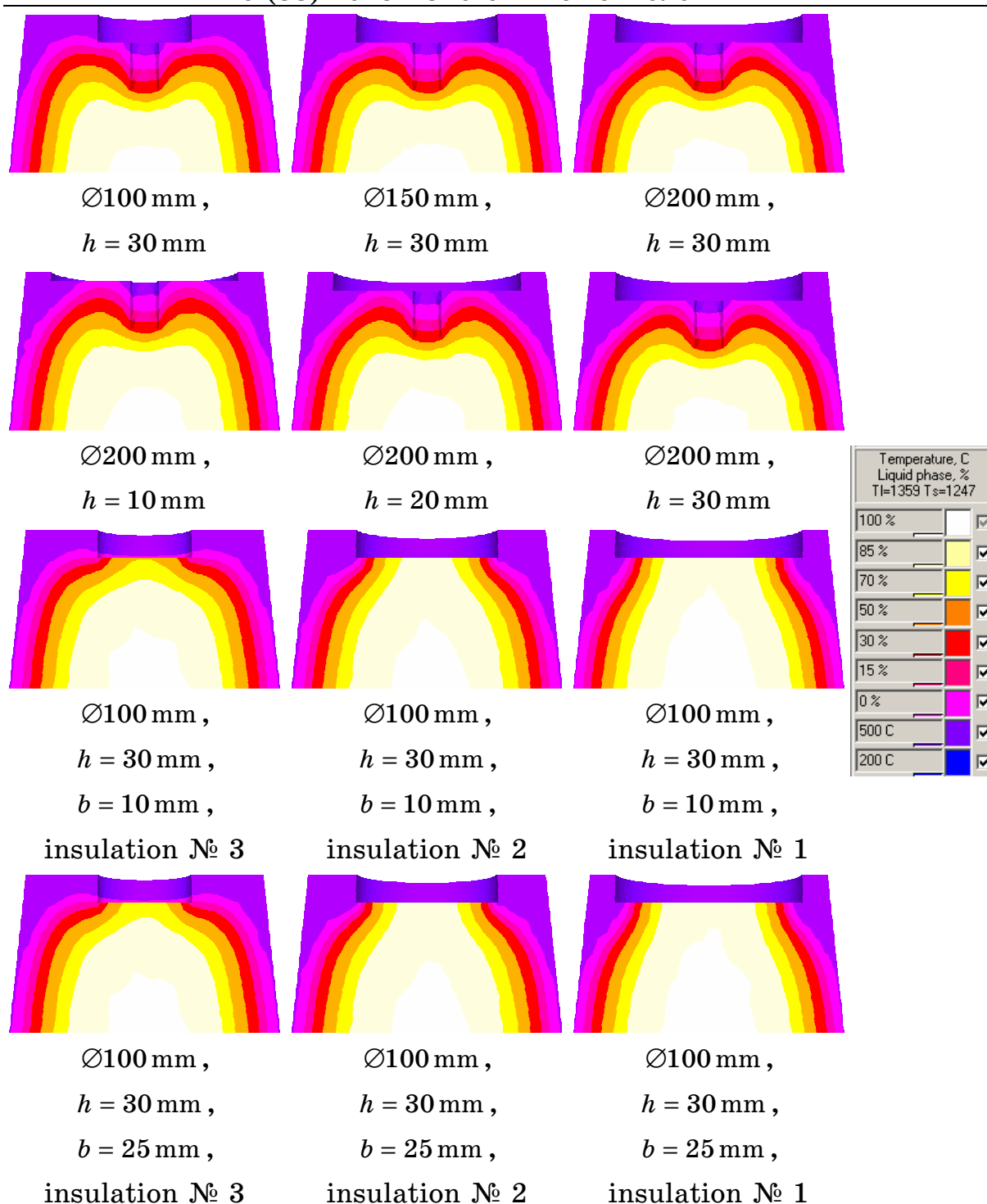


Fig. 6. The temperature distribution in the cross section steel X18Φ1.7 castings at sealing (300 seconds of the end of the fill) in diameter and thickness variation (h) outdoor refrigerator, as well as the presence (or absence) of insulation layer (b)

REFERENCES

1. Пат. 28859 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708969; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
2. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
3. Пат. 91943 Україна, МПК (2009) B22D 18/04, B22D 18/00. Пристрій для одержання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меняйло О.В. – № а200906145; заявл. 15.06.2009; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
4. Selivorstov V. Al-Si alloys structure formation using gaso-dynamic modification /V. Selivorstov, Y. Dotsenko, K. Borodianskiy [etc.] //Proceedings of the 8th Israel-Russian Bi-National Workshop «The Optimization of the Composition, Structure and Properties of Metals, Oxides, Composites, Nano- and Amorphous Materials» (Jerusalem, Israel, June 28 – July 03, 2009). – The Israeli Academy of Science and Humanities, The Russian Academy of Science, 2009. – P.143-150.
5. Селиверстов В.Ю. Влияние наружного холодильника на процесс герметизации отливки из стали с широким температурным интервалом затвердевания в кокиле /В.Ю. Селиверстов //Теория и практика металлургии. – 2008. – № 3. – С. 32-37.
6. Селиверстов В.Ю. Влияние конструктивных особенностей и материала наружного холодильника на процесс герметизации в кокиле отливки из штамповой инструментальной стали /В.Ю. Селиверстов //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/5 (46). – С. 42 – 46.
7. Селиверстов В.Ю. Особенности герметизации отливки из углеродистой стали, затвердевающей в кокиле, при изменении конструкции и размеров наружного холодильника /В.Ю. Селиверстов. //Теория и практика металлургии. – 2010. – № 3 – 4. – С. 26 – 30.

К.В. Яшина, А.В. Садовой, Е.Н. Яловая, В.В. Завгородний
**АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ
ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

Аннотация. Приведен новый алгоритм управления активной мощностью дуговой сталеплавильной печи (ДСП). Разработанный алгоритм основан на комплексной математической модели ДСП и составлении материального и энергетического балансов агрегата.

Ключевые слова. Дуговая сталеплавильная печь, активная мощность, материальный и энергетический балансы.

Постановка проблемы исследования

Дуговая сталеплавильная печь (ДСП) - один из наиболее энергоемких агрегатов, применяемых в черной металлургии. На сегодняшний день существует несколько способов снижения энергопотребления ДСП. При этом экономически целесообразной следует признать модернизацию ДСП путем создания современной автоматизированной системы управления, базирующейся на эффективном алгоритме управления значением активной мощности, подаваемой в печь [1].

Постановка задания

Ввиду множественных дестабилизирующих факторов (обвалы шихты, обрывы электрических дуг), которыми характеризуется выплавка стали в ДСП, и невозможности точного мониторинга основных параметров плавки (температура дуг, шихты, расплава, шлака, состав расплава и шлака) с помощью измерительных приборов задачей исследования является разработка алгоритма управления значением активной мощности печи на основе ее комплексной математической модели и составлении материального и энергетического балансов агрегата.

Основная часть

Одним из способов оценки эффективности работы ДСП является составление материального и энергетического балансов периода расплавления [2 - 5]. При этом используют информацию о геометрии

печи, времени плавки, массе, составе, температуре шихты, загружаемой в печь; массе, составе, температуре «болота», находящегося в печи до начала плавки; массе, составе, температуре полученного расплава и скаченного шлака; расходе электроэнергии на проведение плавки. Подробно составление материального и энергетического балансов ДСП для случая загрузки шихты на «болото» рассмотрено в [4].

Предлагаемый алгоритм управления процессом плавки в дуговой сталеплавильной печи переменного тока предполагает составление перед началом плавки «идеального» баланса печи, который представляет собой совокупность материального и энергетического балансов, состоящих из следующих статей [5]:

Материальный баланс:

- 1) масса и состав шихты;
- 2) масса и состав расплава;
- 3) масса и состав шлака.

Энергетический баланс:

- 4) тепло, вносимое шихтой ($Q_{Ш}^*$);
- 5) тепло, вносимое «болотом» (Q_B^*);
- 6) тепло, вносимое электрическими дугами (Q_D^*).

При этом значение первой статьи «идеального» баланса формируется из исходных данных, доступных перед началом плавки.

Для вычисления значений четвертой и пятой статей необходимо воспользоваться формулами:

$$Q_{Ш}^* = \sum_{i=1}^N c_i^{НАЧ} M_i^{НАЧ} T_i^{НАЧ}, \quad Q_B^* = \sum_{i=1}^M c_i^{НАЧ} M_i^{НАЧ} T_i^{НАЧ},$$

где $M_i^{НАЧ}$ - масса i элемента, загружаемого в печь (кг), $T_i^{НАЧ}$ - температура i элемента, загружаемого в печь (К), $c_i^{НАЧ}$ - теплоемкость i элемента, загружаемого в печь при $T_i^{НАЧ}$ ($\frac{Дж}{кг \cdot К}$), N - количество химических элементов (соединений) в шихте, M - количество химических элементов (соединений) в «болоте».

Вторая и третья статьи «идеального» баланса задаются технологом до начала плавки, исходя из анализа исходных данных, протоколов предыдущих плавов и марки получаемой стали.

Начальное значение шестой статьи «идеального» баланса предполагается вычислять с помощью выражения:

$$Q_D^* = \sum_{i=1}^N c_i^{НАЧ} M_i^{НАЧ} (T_i^{РАСП} - T_i^{НАЧ}),$$

где $T_i^{РАСП}$ - температура расплавления i элемента (К).

Задачей системы управления является получение в процессе плавки характеристик расплава и шлака, заданных соответственно второй и третьей статьями «идеального» баланса. При этом количество тепла, затраченного на плавку не должно превышать значения, заданного шестой статьёй. Необходимо отметить, что первые пять статей «идеального» баланса являются статическими, а значение шестой статьи динамически изменяется (уточняется) по ходу плавки на основании анализа теплопотерь через ограждающие конструкции (свод, стены, подину) и теплоты химических реакций.

Кроме того, для эффективной работы системы управления в начале плавки необходимо задать предполагаемое время расплавления шихты $t_{РАСП}$. Значение $t_{РАСП}$ не является постоянным, оно может уменьшаться либо увеличиваться по ходу плавки в зависимости от интенсивности расплавления шихты.

Пусть t - текущее время плавки; $\tilde{P}_i(t)$ - значения активной мощности, подаваемой в печь i электродом в промежуток времени от $t - \tau_1$ до t , $\tilde{q}_D(t)$ - количество тепла, вносимого в печь электрическими дугами в промежуток времени от $t - \tau_1$ до t , τ_1 - промежуток времени, через который вычисляются значения электрических параметров ДСП.

Предположим, что значения $\tilde{P}_i(t)$ одинаковы, постоянны на протяжении всего периода расплавления ($\tilde{P}_1(t) = \tilde{P}_2(t) = \tilde{P}_3(t) = const$) и равны P^* . Следовательно, величина $\tilde{q}_D(t)$ также является постоянной ($\tilde{q}_D(t) = const$) и равна q_D^* .

Тогда, зная Q_D^* - количество тепла, которое должно быть внесено в печь электрическими дугами за весь период расплавления шихты, и время расплавления $t_{РАСП}$, P^* и q_D^* найдем по формулам:

$$P^* = \frac{Q_D^*}{3t_{РАСП}}, \quad (1)$$

$$q_D^* = P^* \tau_1. \quad (2)$$

Пусть максимальная длина дуги $l_{ДМАХ}$. С помощью модели электрических процессов, происходящих в дуговых электросталеплавильных печах переменного тока, задав длину дуги каждой фазы равной $l_{ДМАХ}$, найдем U_2 - амплитудное значение напряжения на вторичных обмотках печного трансформатора, при котором $\tilde{P}_i(t)$ равно P^* .

Таким образом, начав плавку (текущее время плавки равно 0), напряжение на вторичных обмотках печного трансформатора задаем равным U_2 . Однако, длина электрических дуг на стадии их зажигания не может быть равна $l_{ДМАХ}$, поэтому в начале плавки $\tilde{P}_i(t) < P^*$. Следовательно, количество тепла, вносимого в печь электрическими дугами в промежуток времени от $t - \tau_1$ до t , меньше, чем q_D^* на величину $\Delta q_D(t)$, вычисляемую по формуле:

$$\Delta q_D(t) = \sum_{i=1}^3 (P^* - \tilde{P}_i(t)) \tau_1.$$

Для того, чтобы отклонение процесса от заданного «идеального» баланса было минимальным, необходимо, чтобы

$$\int_0^{t_{РАСП}} |\Delta q_D(t) dt| \rightarrow \min \text{ или } \tilde{P}_i(t) = P^*.$$

Поэтому, по мере проплавления колодцев и заглубления дуг в шихту значения $\tilde{P}_i(t)$ увеличиваем, стремясь минимизировать $\int_0^t |\Delta q_D(t) dt|$. Необходимо отметить, что осуществление поставленной задачи усложняется в следствии обвалов шихты, которые могут происходить на рассматриваемой стадии плавки и необходимости контроля температуры стен и свода печи.

Кроме того, по ходу плавки необходимо осуществить расчет следующих величин:

$Q_{ПОТЕРЬ}(t)$ - суммарные теплотери через окружающие конструкции за время t с начала плавки; $Q_{ХИМ}(t)$ - суммарное тепло, выделяемое либо поглощаемое в результате химических реакции, произошедших за время t с начала плавки; $M_{Ш}^{РАСП}(t)$ - массы шихты, расплавившейся за время t с начала плавки; $M_i^{РАСП}(t)$ - масса i элемента, расплавившегося за время t с начала плавки.

В начале плавки при $t=0$:

$$Q_{ПОТЕРЬ}(t)=0, \quad Q_{ХИМ}(t)=0, \quad M_{Ш}^{РАСП}(t)=0, \quad M_i^{РАСП}(t)=0.$$

В дальнейшем $Q_{ПОТЕРЬ}(t)$, $Q_{ХИМ}(t)$, $M_{Ш}^{РАСП}(t)$, $M_i^{РАСП}(t)$ рассчитывается по формулам:

$$Q_{ПОТЕРЬ}(t) = Q_{ПОТЕРЬ}(t - \tau_2) + \tilde{Q}_{ПОТЕРЬ}(t),$$

$$Q_{ХИМ}(t) = Q_{ХИМ}(t - \tau_2) + \tilde{Q}_{ХИМ}(t),$$

$$M_{Ш}^{РАСП}(t) = M_{Ш}^{РАСП}(t - \tau_2) + \tilde{M}_{Ш}^{РАСП}(t),$$

$$M_i^{РАСП}(t) = M_i^{РАСП}(t - \tau_2) + \tilde{M}_i^{РАСП}(t),$$

где τ_2 - промежуток времени, через который вычисляются значения тепловых характеристик ДСП, $\tilde{Q}_{ПОТЕРЬ}(t)$ - теплотери за время от $t - \tau_2$ до t (Дж), $\tilde{Q}_{ХИМ}(t)$ - тепло, выделяемое либо поглощаемое в результате химических реакций в промежуток времени от $t - \tau_2$ до t (Дж).

После окончания стадии проплавления колодцев через промежуток времени τ_3 , зависящий от вместимости печи, целесообразно пересчитать время плавки и значение шестой статьи «идеального» баланса. Для этого воспользуемся выражениями:

$$t_{РАСП}^1 = \frac{(M_{Ш} - M_{Ш}^{РАСП})t}{M_{Ш}^{РАСП}},$$

$$Q_{Д}^1 = \sum_{i=1}^N c_i (M_i(t) - M_i^{РАСП}(t)) (T_i^{РАСП} - T_i(t)) + Q_{ПОТЕРЬ}(t) + Q_{ХИМ}(t),$$

где $M_i(t)$ - масса i элемента, не расплавившегося за время t с начала плавки, $T_i(t)$ - среднemasсовая температура не расплавившегося i элемента в момент времени t , c_i - теплоемкость i элемента при температуре T_i ($\frac{Дж}{кг \cdot K}$).

Пусть $t_{РАСП} = t_{РАСП}^1$, $Q_D^* = Q_D^1$, тогда воспользовавшись формулами (1), (2), найдем новые значения P^* и q_D^* .

Таким образом, в основу алгоритма определения значения активной мощности, подаваемой в печь в ходе плавки положен подход, близкий к принципам динамического программирования, заключающийся в задании на различных стадиях процесса его «идеальных» характеристик и условий, выполнение которых позволяет минимизировать отклонение реальных параметров процесса от заранее заданных.

Предлагаемый авторами алгоритм управления активной мощностью, подаваемой в дуговую сталеплавильную печь, использован при разработке системы управления работой ДСП (рис. 1). Доказано, что применение этой системы управления обеспечивает экономию энергии на 13 – 14 % при сохранении качества выплавляемой продукции [1] (табл. 1 - 3).



Рисунок 1 – Структура разработанной системы управления дуговой сталеплавильной печью

Таблица 1

Данные о затратах энергии на проведение плавки

Затраты энергии на проведение плавки (МДж)							
Выплавки кор- довой стали (16 % скрап и 84 % металлизирован- ных окатышей)		Выплавки кор- довой стали (61,5 % скрап и 38,5 % метал- лизированных окатышей)		Выплавки кор- довой стали с использованием 100% лома		Выплавки кор- довой стали с использованием 100% лома (за- валка + две подвалки)	
Типо- вая диа- грамма	Расчет	Типо- вая диа- грамма	Расчет	Типовая диа- грамма	Рас- чет	Типо- вая диа- грамма	Расчет
225840	19597 6	191050	155441	184620	15940 0	149143	12982 0

Таблица 2

Содержание FeO , CaO , SiO_2 в шлаке

Химические соединения (элементы)	Содержание, % (протоколы плавки)			Содержание, % (расчет)		
	1	2	3	1	2	3
FeO	12,79	13,76	10,16	10,23	14,02	11,67
CaO	43,25	40,7	41,17	44,1	36,95	40,9
SiO_2	24,05	22,18	23,58	22,43	21,91	24,78

Таблица 3

Содержание Fe , C , Si в расплаве

Химические соединения (элементы)	Содержание, % (протоколы плавки)			Содержание, % (расчет)		
	1	2	3	1	2	3
Fe	97,2	97,4	96,43	95,99	96,96	97,02
C	2,25	2,21	3,007	2,14	2,93	2,97
Si	0,15	0,123	0,09	0,18	0,18	0,08

Выводы

Предлагаемый алгоритм, основанный на комплексной модели процесса выплавки стали в ДСП, позволяет определить совокупность материального и энергетического балансов печи, обеспечивающих максимальную энергетическую эффективность агрегата. Использование разработанного алгоритма при создании системы управления работой ДСП позволило достичь экономии энергии на 13-14% при сохранении качества выплавляемой продукции.

ЛІТЕРАТУРА

1. Садовой А.В. Об одном способе повышения энергетической эффективности дуговых сталеплавильных печей [текст] / А. В. Садовой, К. В. Яшина // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – 2012. – №1(18). – С. 36 – 40.
2. Скрябин В.Г. Модель расчета средней температуры металла в сверхмощной ДСП и ее применение в АСУТП [текст] / В. Г. Скрябин, Д. В. Скрябин // Материалы 2-ой международной научно-практической конференции «Автоматизированные печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии». – Москва: МИ-СиС, 2007. – С. 43 – 45.
3. John Z. Adaptive interval model control of arc welding process / Z. John, W. Bruce // IEEE Trans. Contr. Syst. Technol. - 2006. - № 6. - P. 1127 – 1134.
4. Тимошпольский В.И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего уровня [текст] / Тимошпольский В. И. – Мн.: Навука і тэхніка, 1995. – 256с.
5. Яшина К.В. Усовершенствование способов автоматизированного управления работой дуговых сталеплавильных печей на основе комплексной математической модели для снижения энергозатрат и повышения производительности агрегата [текст] / К.В. Яшина, В.Ю. Болотов, Ю.А. Болотова // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – 2007. – №8. – С. 217 – 221.

Л.И. Короткая

СПОСОБЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ НЕТОЧНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОРРОДИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Проведен анализ способов формализации неполной или неточной информации о параметрах внешней агрессивной среды при решении задач прогнозирования долговечности конструкций с изменяющимися геометрическими характеристиками, подверженных коррозионному износу. Для описания нечётких данных использован математический аппарат теории нечётких множеств и аппарат интервального анализа. Рассмотрены возможности применимости предложенных подходов.

Ключевые слова. Теория нечётких множеств, интервальный анализ, моделирование, прогнозирование долговечности.

Введение

В различных отраслях промышленности и строительной индустрии широко используются механические системы с изменяющимися характеристиками, этим обусловлена актуальность проблемы моделирования их поведения. Примером таких систем могут служить конструкции, функционирующие в агрессивных внешних средах и подвергающиеся коррозионному износу. Одной из отличительных особенностей данной работы является то, что параметры агрессивной среды (АС) рассматриваются как величины, информация о которых является неполной или нечёткой. Если рассмотреть в качестве параметра агрессивной среды скорость коррозии при отсутствии напряжений, то становится очевидным, что его значение не может быть однозначно определено. В реальных условиях этот параметр зависит от целого ряда факторов: температуры среды, её влажности, степени насыщенности различными элементами и других. Количественные характеристики всех этих факторов, с одной стороны, с трудом поддаются определению, с другой – могут изменяться в широком диапазоне в течение всего срока эксплуатации. При постановке задачи в

лучшем случае известно, что среда имеет ту или иную степень агрессивности, которую можно описать с помощью лингвистической переменной [1, 2].

Постановка задачи

Традиционно для решения задачи прогнозирования долговечности корродирующих конструкций использовался детерминированный подход (скорость коррозии предполагалась заданной точечной величиной) и применялась следующая постановка (далее задача в чёткой постановке):

$$\begin{aligned} t^* &= \min\{t_1, t_2, \dots, t_N\} \\ t_i : [\sigma] - \sigma_i(t, v_0) &= 0, \quad i = \overline{1, N}. \\ \sigma_j^* - \sigma_j(t, v_0) &= 0, \quad j \in J \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь t^* – расчетное значение долговечности конструкции; N – количество элементов в системе; J – количество элементов, работающих на сжатие; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение; $\sigma_i(t, v_0)$ – текущее напряжение в i -м элементе; $\sigma_j^*(t, v_0)$ – критическое напряжение потери устойчивости; v_0 – скорость коррозии ненагруженного материала.

При моделировании коррозионного процесса в работе учитывается влияние механических напряжений на скорость коррозии, что и приводит к появлению обратной связи в схеме решения задачи прогнозирования долговечности (рис. 1).

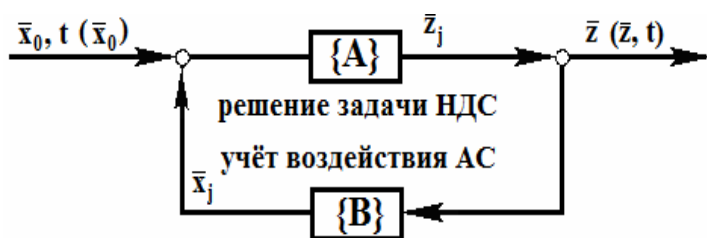


Рисунок 1

Здесь $\bar{x}_0$ – вектор геометрических характеристик; $\bar{z}$ – вектор напряжений; $\{A\}$ – блок расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС); $\{B\}$ – блок решения систем

дифференциальных уравнений (СДУ), описывающих процесс накопления геометрических повреждений.

Решение задачи прогнозирования долговечности, в частности, позволяет определить прогнозируемое значение долговечности каждого элемента с учётом изменения напряжений в них, а, следовательно, и всей системы в целом.

Как было отмечено ранее, информация о параметрах АС является неполной и скорость коррозии может быть задана некоторым интервалом $\tilde{v}_0 \in [v_0^-; v_0^+]$, границы которого определяются значением лингвистической переменной – «степень агрессивности среды». Этот интервал трактуется как множество возможных значений, которые может принимать параметр скорость коррозии в процессе моделирования поведения корродирующей конструкции.

Тогда нечёткая постановка задачи прогнозирования долговечности может быть записана:

$$\begin{aligned} t^* &= \min\{t_1, t_2, \dots, t_N\} \\ t_i: [\sigma] - \sigma_i(t, \tilde{v}_0) &= 0, \quad i = \overline{1, N}. \\ \sigma_j^* - \sigma_j(t, \tilde{v}_0) &= 0, \quad j \in J \end{aligned} \quad (2)$$

Процедура вычисления прогнозной долговечности элемента, подверженного коррозионному воздействию, или определение его НДС в какой-либо момент времени предполагает совместное использование какого-либо численного метода расчёта НДС (в данной работе метода конечных элементов (МКЭ)) и численного метода решения задачи Коши для СДУ, описывающих коррозионный процесс. В качестве модели накопления геометрических повреждений рассматривается модель В.М. Долинского [3]:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \tilde{v}_0 [1 + k \sigma_i(\bar{\delta})], \quad (3)$$

где δ_i – глубина коррозионного поражения i -го элемента конструкции; k – коэффициент учитывающий влияние напряжённого состояния на скорость коррозии.

Решение этой СДУ возможно только численно, например, методом Эйлера [4], при этом решение задачи НДС осуществляется в каждом узле временной сетки:

$$\delta_i^s = \delta_i^{s-1} + \Delta t^s \cdot \tilde{v}_0 \cdot \left(1 + k \cdot \sigma_i^{s-1}(\bar{\delta}^{s-1})\right). \quad (4)$$

Здесь s – номер итерации; Δt – шаг интегрирования.

Способы формализации неполной информации

Очевидно, что альтернативой детерминированному подходу решения задач прогнозирования долговечности при неточных данных может служить вероятностно-стохастический подход. Однако, при этом необходимо выполнение весьма нетривиальных условий (напри-

мер, статистическая устойчивость, знание законов распределения случайной величины или их параметров, информация о которых, как правило, отсутствует). Поэтому использование данного подхода сопряжено с определёнными трудностями.

Для формализации неполной информации можно отметить два направления, которые возникли практически одновременно, $\square$ это математический аппарат теории нечётких множеств (ТНМ) и аппарат классического интервального анализа (ИА). Они могут применяться в зависимости от решаемых задач и проблем. Рассмотрим возможность их применения при решении указанного класса задач.

Интервальный анализ и его методы имеют ценность в задачах, где неоднозначности возникают с самого начала и являются неотъемлемой частью постановки задачи [5]. Отметим, что использование интервалов не требует знания законов или параметров распределения случайной величины. Интервальная величина может иметь, а может и не иметь на интервале распределение. Более того все точки рассматриваемого интервала «равноправны» (но ни в коем случае здесь не подразумевается, что они распределены на интервале равномерно, если, конечно, нет в наличии статистической информации).

При решении задачи прогнозирования долговечности в постановке (2) был применён аппарат интервального анализа. Ввиду того, что параметр АС рассматривается как интервальная величина, то представляется целесообразным использовать для решения СДУ интервальные методы. С этой целью можно применять широкий спектр двусторонних и интервальных методов [6]. В этом случае может быть получено двустороннее решение задачи прогнозирования долговечности корродирующих конструкций (кривые 1 и 2 рис. 2) $[t_{\min}^*; t_{\max}^*]$.

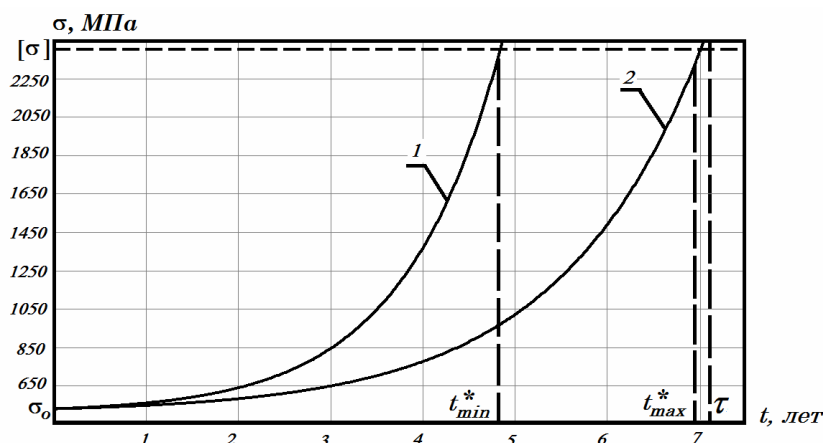


Рисунок 2

Однако, следует учитывать ряд особенностей, присущих указанным методам, например, так называемый эффект раскрутки Мура или эффект распаковывания, который связан только с внутренними свойствами интервальных методов безотносительно к ошибкам численных решений [6].

В большинстве случаев необходимы гарантированные оценки погрешности получаемого результата. Тогда можно воспользоваться апостериорными оценками имеющегося численного решения, например, применив методы, основанные на мажорантах Лозинского.

Не вдаваясь в подробное описание указанных методов, отметим, что в данной работе для построения двустороннего решения задачи Коши для СДУ типа (3) с интервально заданным параметром АС, решалась задача приближённо с использованием метода Рунге-Кутты первого порядка. В результате получено интервальное решение задачи Коши $[t^*_{\min}; t^*_{\max}] = [t^*(v_0^+); t^*(v_0^-)]$, ширина которого, при необходимости, может быть уточнена.

Очевидно, что использование интервального анализа позволяет формализовать неполную информацию о параметрах АС и получить интервал численного решения задачи прогнозирования долговечности. Однако, имеются некоторые специфические особенности применения интервальных численных методов, которые присущи рассматриваемому классу систем дифференциальных уравнений, описывающих коррозионный износ (3). Для определённости в качестве корродирующего элемента рассмотрим стержень кольцевого сечения при одноосном нагружении. Зависимость напряжений от времени будет определяться формулой [7]:

$$\sigma(t) = \frac{Q}{\pi((R - \delta)^2 - r^2)}, \quad (7)$$

где R и r – соответственно внешний и внутренний радиусы элемента. В [4] на основе анализа поведения функции правой части дифференциального уравнения (3) достаточно подробно рассмотрены возможные ситуации. В том числе, когда точка разрыва второго рода τ (при $\delta(t) = R - r$) может оказаться между узлами численного интегрирования t_i и t_{i+1} или в достаточной близости от точки t_{i+1} . Как следствие, в процессе решения СДУ и с применением интервалов, и с использо-

ванием уровней множества, указанные ситуации должны обязательно отслеживаться.

Если имеется возможность построения функции принадлежности скорости коррозии $\mu(v)$, то целесообразно применять аппарат ТНМ. Для формализации неточных данных используется α -уровневый принцип обобщения [1, 8]. В работе построение функции принадлежности осуществляется с применением прямых экспертных оценок:

$$\tilde{v}_0 = \sum_{i=1}^{2 \cdot N_\alpha - 1} \frac{\mu(v_0^i)}{v_0^i}, \quad v_0^i \in [v_0^-; v_0^+], \quad (5)$$

$$\mu(v_0^i) = \begin{cases} 0, & v_0^i \notin [v_0^-; v_0^+]; \\ \cos\left(\pi \cdot \frac{v_{cp} - v_0^i}{v_0^+ - v_0^-}\right), & v_0^i \in [v_0^-; v_0^+], \end{cases} \quad (6)$$

где N_α количество α -уровней; $v_{cp} = \frac{v_0^+ + v_0^-}{2}$. В формуле (5) символ $\sum$ обозначает дискретное нечёткое множество [8].

Использование уровней множества даёт возможность получения не только интервала изменения значения долговечности, но и получения дефаззифицированного [8] его значения одновременно с соответствующим значением функции принадлежности $\mu(t)$.

Использование интервальных численных методов или аппарата теории нечётких множеств при решении СДУ, описывающих процесс накопления геометрических повреждений, позволяет учесть нечёткий характер параметра внешней среды, однако, сопряжено с большими вычислительными затратами. Особенно эта проблема становится актуальной в том случае, когда задача прогнозирования долговечности является частью более общей задачи – определения оптимальных параметров корродирующих конструкций, когда функции ограничений предполагают определение долговечности конструкции и решение задачи нелинейного математического программирования на каждом шаге. Рекомендации по повышению эффективности вычислительных методов предложены в [4].

Численные результаты

Для численной иллюстрации рассматривается решение задачи прогнозирования долговечности стержня растянутого силой Q . Исходные данные: $Q = 12 \text{ кН}$; предельно допустимое напряжение

$[\sigma] = 240 \text{ МПа}$; начальные внешний $R = 2,5 \text{ см}$ и внутренний $r = 1,25 \text{ см}$ радиусы; шаг интегрирования $\Delta t = 0,0001$; коэффициент влияния на напряжений $k = 0,003 \text{ МПа}^{-1}$; заданное предельно допустимое значение погрешности численного решения $\varepsilon = 0,05$.

При решении задачи прогнозирования долговечности, во избежание описанных ранее нештатных ситуаций [4], был применён метод Эйлера. Количество α -уровней принималось равным шести.

Дефазифицированное значение долговечности t_{def} при использовании теории нечётких множеств получено центроидным методом [8]; t_{cp} среднее значение интервала долговечности $[t^*_{\min}; t^*_{\max}]$.

Для большей наглядности автор преднамеренно приводит величину t_{cp} с целью демонстрации того, что воспользоваться усреднённой оценкой получаемого значения долговечности не представляется возможным (табл. 1).

Таблица 1

Результаты численного решения задачи прогнозирования долговечности в различных постановках

$v_0, \text{ см/год}$	$t^*, \text{ лет}$	$t_{cp}, \text{ лет}$	$t_{def}, \text{ лет}$
Чёткая постановка			
0,1	5,16	-	-
Нечёткая постановка (ИА)			
[0,90;0,11]	[4,62;5,68]	5,15	-
[0,08;0,12]	[4,26;6,41]	5,34	-
[0,07;0,13]	[3,93;7,34]	5,66	-
Нечёткая постановка (ТНМ)			
[0,90;0,11]	[4,69;5,74]	5,22	5,18
[0,08;0,12]	[4,31;6,46]	5,39	5,21
[0,07;0,13]	[3,98;7,38]	5,68	5,26

На основании анализа численных экспериментов следует отметить, что предложенные подходы позволяют получить и оценить результат при неопределённых или неточных данных. По своей сути метод интервального анализа достаточно хорошо формализован и ал-

горитмичен. Применение уровней множества даёт возможность получить дефазифицированное значение долговечности с его функцией принадлежности $\mu(t)$, которая позволяет установить степень принадлежности t_{def} нечёткому множеству $\tilde{t}$.

Выводы

Предложены способы формализации неполной или неточной информации о параметрах внешней агрессивной среды с помощью математического аппарата теории нечётких множеств и интервального анализа. Рассмотрены возможности их применения и некоторые проблемные аспекты при решении задач прогнозирования долговечности корродирующих конструкций. Получены результаты численных экспериментов, которые позволяют лицу, принимающему решение, их интерпретировать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. /Л. Заде – Москва: Мир, 1976. – 163 с.
2. Короткая Л.И. Нечёткое моделирование поведения элементов химического оборудования / Л.И. Короткая // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 2/4 (62). – С. 12 – 15.
3. Долинский В.М. Расчёт нагруженных труб, подверженных коррозии / В.М. Долинский // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1967. – № 2. – С. 9 – 10.
4. Зеленцов Д.Г. Способы повышения эффективности численного решения некоторых классов систем дифференциальных уравнений / Д.Г. Зеленцов, Л.И. Короткая // «Современные проблемы математики, механики и информатики». Сборник статей. / Под. ред. Н.Н. Кизиловой, Г.Н. Жолтакевича. – 2011. – Харьков. С. 234-241.
5. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ / С.П. Шарый – Издательство «XYZ», 2010. – 597 с.
6. Шокин Ю.И. Интервальный анализ / Ю.И. Шокин. – Новосибирск: Наука, 1981. – 112 с.
7. Зеленцов Д.Г. Расчёт конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.
8. Штовба С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику [Электронный ресурс] / Винницкий технический университет. Режим доступа:

<http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book2/index.php>

USE OF FOURIER ANALYSIS FOR THE IDENTIFICATION OF PULSE ELLIOT WAVES

Abstract. The method for analysis Elliot wave and confirmation of pulse Elliot wave presence with Fourier analysis. Creation new indicator on Interbank Currency Exchange market.

Key words: trend, Elliot wave, Fourier analysis, indicator

There are more than 200 indicators [2] that signal the continuing trend in the transition state of the Flat or trend reversal. All indicators available to traders, analyzed and trader creates assumptions about the most likely course of events. There is no such an indicator that would give one hundred percent convinience in the direction of the market in the next moment.

Theory of wave motion of markets was proposed in the 30s of XX century, Ralph Nelson Elliot [4], according to which all price movements in the market is subject to human psychology and is a cyclic process of change of pulse wave corrective and vice versa. Pulse wave is a sequence of five price fluctuations, corrective waves - a sequence of three or five price fluctuations.

One of the most common is the impulse wave Elliot wave [3] (Fig. 1).

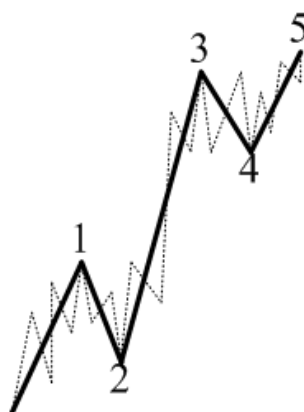


Fig.1 - Pulse Elliot wave

Characterized by its features:

The end of the second wave never comes at the beginning of the first wave;

The third wave is always extends past the top of the first wave;

The end of the fourth wave never sets on top of the first wave;

The third wave is never the shortest of all current waves;

The third wave is always the impuls;

The first wave can be either a pulse or a wedge;

The fifth wave can be either impulse or diagonal;

The second wave may take the form of any corrective wave except the triangle;

The fourth wave can take the form of any corrective wave;

The prediction using Fourier analysis has been viewed previously [1] and it was shown that with this analysis is very difficult and sometimes even impossible to predict what will happen in the next period. In terms of non-stationary process of Fourier analysis does not allow a qualitative conclusion.

Fourier analysis of some parts of Elliot waves can provide an additional indicator that signals the continuation of a trend or a turn-around. Site selection, which will be analyzed, is purely expert assessment which may affect the outcome.

Analysis of these plots was made on an already selected Elliot waves (Fig. 2) that occurred before:

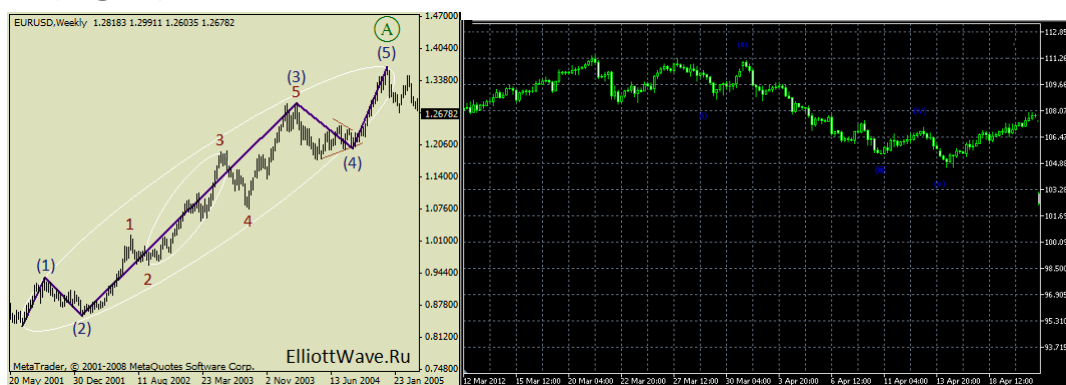


Fig. 2 - Elliot waves

First Wave: EURUSD beginning June 7, 2001 - the end of the pulse waves December 31, 2004 - the end of correction wave July 5, 2005.

The second wave: EURUSD beginning September 17, 2002 - the end of the pulse wave April 27, 2003 - End of corrective waves Serpe 26, 2003.

The Third Wave: EURJPY beginning March 27, 2012 - the end of the pulse wave April 16, 2012 - the end of correctional wave April 26, 2012.

Fourier analysis of the periods from the beginning to the end of the pulse wave (Fig. 3) clearly shows that two distinct frequencies available for the most values of the amplitude.

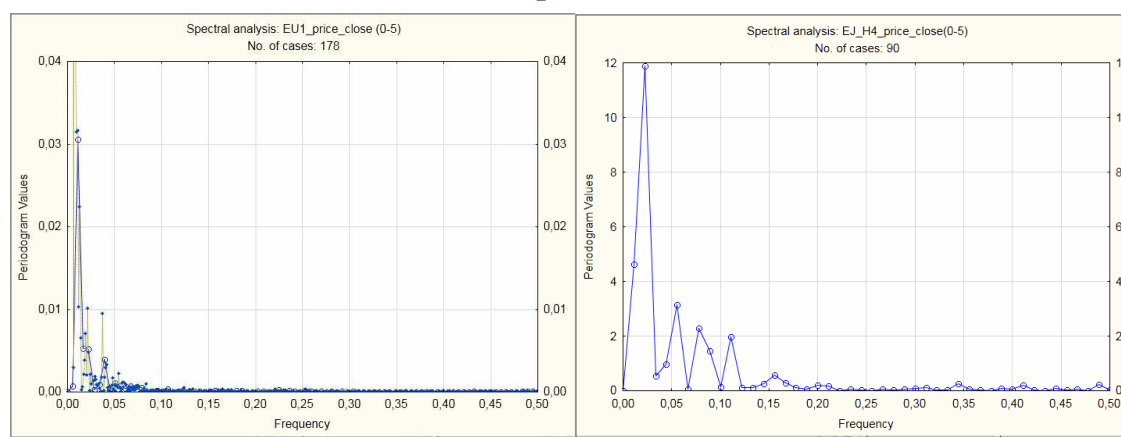


Fig. 3 - Fourier analysis Elliot Waves in the range from the beginning to the end of the pulse wave (left bullish wave case Bear)

Second a clear sine wave (the first level of 0.01 second - 0.005) shows a sharp jump in third-wave pulse wave Elliot. The graph on the right is bearish pulse wave, which also confirms the sharp jump in the third wave.

Dataselection influences the result very much so this method can be used to confirm the presence of pulse wave Elliot, one of the rules of which are pronounced is the third wave (larger in amplitude than the first and fifth). Using this method can provide preliminary information on the trend reversal at the top of the 5 waves and corrective waves beginning. In conjunction with other indicators this indicator can be used as an additional indicator that confirms the reversal of the market.

REFERENCES

1. Technical Indicators for METATRADER [electronic resource] / magazine for traders , forex analytics , education - ForTrader.Ru - Mode of access : \ www / URL: <http://fortrader.ru/indicators-forex/> - 10.12.2013 , the
2. Prekter R., Elliot Wave principle . The key to understanding the market = Elliott Wave Principle: Key to Market Behavior. [Text] / R. Prekter , A. Frost - M. " AlpinaPabliher " , 2012. - 270 p.
3. Implementaion of Automatic analysis for Elliot waves in MQL5 [electronic resource] / MetaQuotes Software Corp. - Mode of access : \ www / URL: <http://www.mql5.com/ru/articles/260>
4. John J. Murphy Technical analysis of futures markets. Theory and Practice = Technical Analysis of the Futures Markets: A Comprehensive Guide to Trading Methods and Applications. [Text] / John J. Murphy - M. " AlpinaPabliher " , 2011. - 616 p.

В.В. Слесарев, А.В. Малиенко

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ОПЕРАТИВНЫХ ГРАФИКОВ РАБОТЫ ГОРНОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Аннотация. Разработан метод расчета оперативных графиков транспортной сети угольной шахты, с использованием, которого реализуется комплексный подход к решению задач оперативного управления транспортной сетью.

Ключевые слова: горнотранспортная сеть, линейный узел, хранилище углей, оперативный график, временной интервал, директивные данные.

Введение. Для рациональной работы ГТС (горнотранспортной сети) необходимо выполнять основное требование – максимальная добыча угля при заданных технологических условиях. Мы знаем, что процесс добычи имеет неравномерный характер, что не может не сказываться на работе всей ГТС угольных шахт. Неравномерность объемов добычи связано в первую очередь с характером залегания угольной массы, режимов работы оборудования, спроса. В настоящий момент управление происходит по методу средних величин, но данный метод не учитывает неравномерность добычи угля и его транспортирование по магистральным выработкам [1,2].

Цель. Разработка метода расчета оперативных графиков работы ГТС, который в свою очередь позволит повысить эффективность функционирования всей системы.

Постановка задачи. При разработке оперативного графика добычи необходимо использовать данные по директивным объемам транспорта угля, подлежащим распределению в ТС (транспортной сети). Директивный объем транспортируемых углей устанавливается на основе долгосрочного прогноза добычи и транспортирования угля с учетом неравномерности отгрузки и представлен в виде суммарной величины для определенной ТС [3].

Для определения количества угля, подлежащего распределению в соответствии с директивными показателями, используют объем

подачи угля в накопительные емкости околоствольного двора Q_u , нормативный расход угля в угольных и совмещенных бункерах через питатели $Q_{б-н}$ и резервный расход угля $Q_{рез}$, используемый для регулирования процесса транспорта угля при отклонениях от запланированного режима.

По нормативной документации расход углей включает запасы, необходимые для бесперебойной работы оборудования транспортной сети - технологический запас $Q_{тех}$, запас в пути $Q_{путь}$, связанный с не синхронностью поступления угля в ТС, расход угля буферным потребителям $Q_{буф}$, который используется для тех же целей, потери угля при транспорте $Q_{пот}$ согласно нормативной документации. Тогда уравнение баланса транспорта угля примет вид:

$$Q_{баланс} = Q_{рез} + Q_{тех} + Q_{путь} + Q_{буф} + Q_{пот} + Q_{б-н} \quad (1)$$

Рассмотрение функционирования ТС происходит в дискретные моменты времени $t=0, 1, \dots, T$, предполагая, что шаг дискретизации $\Delta t > \tau$, где τ - время распространения грузовых потоков вдоль структуры ТС.

Для физического осуществления процесса транспорта угля необходимо выполнение следующих неравенств

$$Q_{Тех}^j \leq Q_{вых_t}^j \leq Q_M^j \quad (j = 1, \dots, m; t = 0, 1, \dots, T), \quad (2)$$

в которой

$$Q_{вых_t}^j = kQ_{вых_t}^{j-1} + \sum_{i=1}^{p_j} Q_{б-н_t}^{ji} - \sum_{i=1}^{n_j} Q_{U_t}^{ji} - \sum_{i=1}^{s_j} Q_{буф_t}^{ji} + \sum_{i=1}^{r_j} Q_{x_t}^{ji} + Q_{з_t}^j, \quad (3)$$

где величины $Q_{x_t}^{ji}$ и $Q_{з_t}^j$ принимают положительные значения, когда происходит отбор угля из наземного хранилища углей (ХУ) или из магистральных конвейеров линейных узлов (ЛУ), и отрицательные при закачке угля в ХУ или конвейера ЛУ в целях аккумуляции для сглаживания будущих неравномерностей, Q_M^j - ограничение сверху на количество угля, проходящее через j -й бункер накопитель, определяемое характеристиками транспортного оборудования.

Величины Q_T^j и Q_M^j - объективные (в условиях данной задачи) ограничения, накладываемые имеющимся транспортным оборудованием. Поэтому процесс управления распределением нагрузок по лавам в ТС сводится к определению значений величин $Q_{U_t}^{ji}$, $Q_{буф_t}^{ji}$, $Q_{x_t}^{ji}$.

Учитывая, что значения величин поставок угля интегральным потребителям $Q_{U_t}^{ji}$ и их потребности в углях $Q_{CU_t}^{ji}$ могут не совпадать, а целью функционирования ТС является максимальное удовлетворение спроса потребителей, задачу расчета нагрузок на лавы, т.е. нахождения величин $Q_{U_t}^{ji}$, $Q_{\phi_t}^{ji}$, $Q_{x_t}^{ji}$, $Q_{z_t}^j$ представим в виде

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{n_j} (Q_{CU_t}^{ji} - Q_{U_t}^{ji}) C_U^{ji} - \sum_{i=1}^{S_j} C_{\phi} Q_{\phi_t}^{ji} + \sum_{i=1}^{r_j} Q_{x_t}^{ji} C_x^{ji} + C_z^j Q_{z_t}^j \right) \quad (4)$$

при условии выполнения (2), (3) и уравнений связи, которые запишем как

$$\sum_{i=1}^{r_j} Q_x^{ji}(t+1) + Q_z^j(t+1) = \sum_{i=1}^{r_j} Q_x^{ji}(t) + Q_z^j(t) + \left(\sum_{i=1}^{r_j} Q_x^{ji}(t) + Q_z^j(t) \right) \cdot k' \quad (j = \overline{1, m}) \quad (5)$$

где k' - коэффициент потерь угля при закачке в ХУ, выбирается из тех же соображений, что и коэффициент k , $Q_{x_t}^{ji}$ - количество угля, накопленного на i -ом поле на j -ом ЛУ к моменту времени t , $Q_{z_t}^j$ - количество аккумулированного угля в бункер накопителе j -ого ЛУ к моменту t . При этом должны выполняться неравенства

$$\underline{Q_x^{ji}} \leq Q_x^{ji}(t) \leq \overline{Q_x^{ji}} \quad (i = \overline{1, \dots, r_j}; j = \overline{1, \dots, m}) \quad (6)$$

$$\underline{Q_z^j} \leq Q_z^j(t) \leq \overline{Q_z^j} \quad (j = \overline{1, \dots, m}) \quad (7)$$

$$Q_{U_t}^{ji} \geq 0 \quad (i = \overline{1, \dots, n_j}; j = \overline{1, \dots, m}), Q_{\phi_t}^{ji} \geq 0 \quad (i = \overline{1, \dots, S_j}; j = \overline{1, \dots, m}) \quad (8)$$

где $\underline{Q_x^{ji}}$ и $\overline{Q_x^{ji}}$ - минимальное и максимальное количество угля, которое

может быть закачено в i -ое ХУ на j -ом ЛУ, $\underline{Q_z^j}$ и $\overline{Q_z^j}$ - минимальное и

максимальное количество угля, которое может быть аккумулировано в бункерах j -го ЛУ; C_U^{ji} - удельные потери от недопоставки угля i -ому потребителю на j -ом ЛУ; C_{ϕ}^{ji} - удельный выигрыш от использования угля у буферных потребителей по сравнению с другими видами топлива; C_x^{ji} - удельные затраты, связанные с закачкой угля в ХУ на j -ом ЛУ, C_z^j - удельные затраты на аккумулирование угля в бункер накопитель j -ого ЛУ. Можно предположить, что

$$C_x^{ji} = \begin{cases} 0, \text{ при } Q_{x_t}^{ji} \geq 0, \\ C_x^{ji}, \text{ при } Q_{x_t}^{ji} < 0 \end{cases}$$

$$C_z^j = \begin{cases} 0, \text{ при } Q_{z_t}^j \geq 0 \\ C_z^j, \text{ при } Q_{z_t}^j < 0 \end{cases}.$$

Соответственно, все величины C_U^{ji} , C_o^{ji} , C_x^{ji} , C_z^j от времени не зависят.

Таким образом, задача расчета оперативных графиков работы нагрузок на лавы в ТС при выполнении принятых допущений представляет собой задачу математического программирования, требующую для своего решения разработки специальных алгоритмов.

Рассмотрев частный случай условий функционирования ТС, а именно функционирование в условиях угольных шахт, дефицитом определим такую ситуацию, при которой технологически допустимое (безаварийное) функционирование ТС возможно только в результате недопоставок угля по плановым показателям. Возникновению такой ситуации, как правило, предшествует максимально допустимый отбор угля из резервов (ХУ и аккумулялированного запаса в БН ЛУ). В результате ее характерно отсутствие запасов и нецелесообразность их накопления с целью передачи от одного такта управления к другому.

Работа ТС в условиях угольных шахт занимает достаточно длительный временной интервал и поэтому из-за последствий, возникающих у потребителей, заслуживает специального рассмотрения. Появление описываемой ситуации, помимо всего прочего, может быть вызвано случайными отказами элементов транспортной системы и несоответствием между временем, количеством и местом добычи угля и его выдачей на поверхность. Формально задача расчета нагрузок на лавы в условиях угольных шахт на интервале $[0, T]$, исходя из (2) - (8), может быть представлена в виде пошагового решения ряда статических задач вида

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} (Q_{CU_t}^{ji} - Q_{U_t}^{ji}) C_U^{ji}, \quad (9)$$

при условиях

$$Q_{Tex}^j \leq Q_{бых_t}^j \leq Q_M^j \quad (j=1, \dots, m), \quad (10)$$

$$Q_{\text{был}_t}^j = kQ_{\text{был}_t}^{j-1} + \sum_{i=1}^{p_j} Q_{o_t}^{ji} - \sum_{i=1}^{n_j} Q_{U_t}^{ji} \quad (j=1, \dots, m), \quad (11)$$

$$Q_{U_t}^{ji} \geq 0 \quad (i=1, \dots, n_j; j=1, \dots, m). \quad (12)$$

Вводя коэффициенты недопоставки угля γ_t^{ji} , удовлетворяющие условиям

$$Q_{U_t}^{ji} = (1 - \gamma_t^{ji}) Q_{CU_t}^{ji}, \quad 0 \leq \gamma_t^{ji} \leq 1$$

(при $\gamma_t^{ji} = 0$ поставка угля i -ому накопителю на j -ом ЛУ осуществляется в полном объеме), задачу (9) - (12) представим в виде

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \gamma_t^{ji} Q_{CU_t}^{ji} C_U^{ji}, \quad (13)$$

при условиях

$$Q_{\text{Tex}}^j \leq Q_{\text{был}_t}^j \leq Q_M^j \quad (j=1, \dots, m), \quad (14)$$

$$Q_{\text{был}_t}^{j-1} = kQ_{\text{был}_t}^{j-1} + \sum_{i=1}^{p_j} Q_{o_t}^{ji} - \sum_{i=1}^{n_j} (1 - \gamma_t^{ji}) Q_{CU_t}^{ji} \quad (j=1, \dots, m), \quad (15)$$

$$0 \leq \gamma_t^{ji} \leq 1 \quad (i=1, \dots, n_j; j=1, \dots, m). \quad (16)$$

Исходя из определения ситуации, названной дефицитом, недопоставки вызываются необходимостью удовлетворения физической допустимости процесса транспорта, что в терминах задачи (13) – (16) эквивалентно необходимости удовлетворения левых частей двухсторонних неравенств (14), так как при $Q_{\text{Tex}}^j > Q_{\text{был}_t}^j$, сорвется процесс транспорта угля. Кроме того, в реальной ТС величина γ_t^{ji} никогда не будет равна единице. Согласно данным, приводимым в [2], величины недопоставок угля интегральным потребителям в наихудших случаях достигают 16 - 20% потребности, по другим источникам они не превосходят 20 - 25%, но всегда γ_t^{ji} значительно меньше единицы. Учитывая приведенные соображения и проведя преобразования, задачу (13) - (16) запишем как

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \gamma_t^{ji} C_U^{ji} Q_{CU_t}^{ji}, \quad (17)$$

при условиях

$$Q_{\text{Tex}}^j \leq \sum_{l=1}^j k^{j-l} \left(\sum_{i=1}^{p_l} Q_{o_t}^{li} - \sum_{i=1}^{n_l} (1 - \gamma_t^{li}) Q_{CU_t}^{li} \right) \quad (j=1, \dots, m), \quad (18)$$

$$\gamma_t^{ji} \geq 0 \quad (i=1, \dots, n_j; j=1, \dots, m) \quad (19)$$

Вводя обозначения,

$$C_U = \begin{pmatrix} C_U^{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_U^{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & C_U^{mn} \end{pmatrix}, \quad E_n = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_{CU_t} = \begin{pmatrix} Q_{CU_t}^{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_{CU_t}^{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & Q_{CU_t}^{mn_m} \end{pmatrix},$$

$$Q_{\partial t} = \begin{pmatrix} Q_{\partial t}^{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_{\partial t}^{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & Q_{\partial t}^{mp_m} \end{pmatrix}, \quad Q_T = \begin{pmatrix} Q_T^1 \\ Q_T^2 \\ \dots \\ Q_T^m \end{pmatrix}, \quad E_p = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix},$$

где C_U - диагональная $(n \times n)$ -матрица, $n = n_1 + n_2 + \dots + n_m$; E_n - $(n \times 1)$ единичный вектор-столбец; Q_{CU_t} - диагональная $(n \times n)$ -матрица; K_A - $(m \times n)$ -матрица; $Q_{\partial t}$ - диагональная $(p \times p)$ -матрица, $p = p_1 + p_2 + \dots + p_m$; Q_T - $(p \times 1)$ вектор-столбец технологических ограничений; E_p - $(p \times 1)$ единичный вектор-столбец; $K_{\partial \partial}$ - $(m \times p)$ -матрица;

$$C_t = -E_n^T C_U Q_{CU_t}, \quad A_t = -K_A Q_{CU_t},$$

$$-b_t = -(Q_T - K_{\partial \partial} Q_{\partial t} E_p + K_A Q_{CU_t} E_n),$$

получим из (17) - (19) задачу вида

$$\max(C_t, \gamma_t), \quad (20)$$

при условиях

$$A_t \gamma_t \leq b_t, \quad (21)$$

$$\gamma_t \geq 0 \quad (22)$$

где C_t - вектор коэффициентов при неизвестных целевой функции размерности $1 \times n$; b_t - вектор ограничений размерности $m \times 1$, A_t - матрица системы ограничений задач размерности $m \times n$, γ_t - искомые управляющие воздействия.

Таким образом, задача распределения угольной массы в ТС шахты на временном интервале $[0, T]$ сводится к пошаговому решению ЗЛП, заданную уравнениями (20) - (22) и процедура расчета оперативного диспетчерского графика работы горнотранспортной сети будет представлена в виде следующих этапов (в каждый момент времени):

а) получение и обработка информации о добычи угля в очистном забое в момент времени $t - Q_{CU_t}^{ji}$ ($i=1,...,n_j; j=1,...,m$); где Q_{CU_t} - диагональная матрица размерностью $(n \times n)$;

б) получение информации о директивных значениях поставок угля в ТС в момент времени $t - Q_{\partial_t}^{ji}$ ($i=1,..., p_j; j=1,..., m$); где $Q_{\partial_t}^{ji}$ - директивная величина поступления угля в момент времени t от i -ого источника, физически связанного с j - ым линейным участком (ЛУ) ТС,

в) получение информации и определение размеров поставок угля по промежуточным накопителям $Q_{U_t}^{ji}$ ($i=1,...,n_j; j=1,...,m$) по результатам решения ЗЛП (4.1) - (4.3) относительно γ_t^{ji} в момент времени t , как $Q_{U_t}^{ji} = (1 - \gamma_t^{ji}) Q_{CU_t}^{ji}$.

Выводы. Разработанная система расчета оперативных графиков работы горнотранспортной сети позволяет оптимизировать грузопотоки в рамках планирования и оперативного управления подземного транспорта с сокращением внеплановых простоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баламов Е.П., Пузаков Д.В. Проектирование информационно-управляющих систем.- М.: Радио и связь, 1987.-256с.
2. Алябьев Н.М., Ефремов В.К. Экономия электроэнергии на угольной шахте.- М.: Недра, 1970. – 175 с.
3. В.В. Слесарев., М. Гаяда. Оптимальное распределение нагрузок на лавы при нестационарной добычи в условиях угольных шахт // Науковий вісник національного гірничого університету.-№3.- Дніпропетровськ 2005.-С. 72-73.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАРБИДНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В БЕЛЫХ ЧУГУНАХ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Анотация. Белые чугуны и легированные стали карбидного класса широко используются в современном машиностроении и металлургии. Благодаря наличию в их структуре большого количества эвтектических карбидов, они обладают высокой твердостью, теплостойкостью, износостойкостью. Однако технологическая пластичность этих сплавов имеет низкий уровень, что ограничивает применение обработки давлением. Изучение закономерностей фазовых превращений в метастабильных карбидах, комплексно легированных эвтектических сталях и доэвтектических белых чугунах позволяет управлять их структурой и свойствами. В данной работе представлены результаты комплексных исследований карбидных превращений в эвтектической составляющей этих сплавов, которые получены методами световой и электронной микроскопии, подтвержденные рентгеноструктурным и микрорентгеноспектральным анализом.

Ключевые слова: эвтектика, легирование, электронная микроскопия, метастабильные карбиды фазовые превращения, дисперсные фазы

Постановка задачи исследований. Сплавы карбидного класса широко используются в качестве материалов с повышенной износостойкостью. К ним относятся белые чугуны легированные хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием и другими карбидообразующими элементами. В промышленности в основном используются сплавы доэвтектических составов. В литом состоянии структура таких сплавов состоит из первичных кристаллов твердого раствора и сетки эвтектической составляющей. Технологические и эксплуатационные свойства сплавов данного класса обусловлены, прежде всего, наличием эвтектик, у которых базовой является хрупкая карбидная фаза. В структуре этих сплавов образуются эвтектики на базе метастабильных карбидов сложного состава M_7C_3 , M_6C , M_2C , M_3C , MC . При последующих

нагревах и в ходе обработки давлением в эвтектиках белых чугунов и происходят фазовые и структурные превращения, оказывающие существенное влияние на их свойства. В метастабильных карбидах при тепловом воздействии происходят фазовые превращения, направленные на переход в более стабильное состояние.

При этом структура может существенно изменяться вплоть до полного разделения эвтектической сетки на изолированные карбидные включения. Изучение закономерностей карбидных превращений в эвтектической составляющей, представляет огромный научный и практический интерес, так как позволяет управлять структурообразованием и свойствами белых чугунов.

Однако эвтектические карбиды, образующиеся при кристаллизации железоуглеродистых сплавов, легированных карбидообразующимися элементами, а также фазы, которые образуются при их трансформации, обладают большим разнообразием. Целью настоящей работы является исследовать структурные и фазовые изменения, происходящие в эвтектиках доэвтектических белых чугунов, легированных карбидообразующими элементами: хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием в количестве от 0,5 до 12% масс.

Материал и методика. В работе изучали структурообразование в чугунах, составы которых представлены в табл.1. Содержание серы, фосфора и других примесей не превышало значений, регламентированных ГОСТом 19265-73. Образцы получали в лабораторных условиях в печи ЛВП-3, при этом использовали промышленные ферросплавы, доменный чугун и сталь 10.

Микроструктурные исследования проводили с помощью оптических микроскопов "VERTIVAL", "AXIOVERT 200 MAT", "AXIO OBSERVER AL" фирмы "CarlZeiss", "AXIOMAT" фирмы "OPTON" (Германия), а также на растровых электронных микроскопах "JSM-35" фирмы "JEOL"(Япония), "AMREY 3600-C ECO-SEM" фирмы "AMREY"(США), "CAMEBACS" фирмы "CAMECA"(Франция) при увеличении до 10000х.

Микроструктуру выявляли путем различных видов травления: теплового, химического, электролитического, ионного.

Содержание легирующих элементов и эвтектической составляющей в экспериментальных сплавах

№	Содержание легирующих элементов, % масс.					Доля эвтектической составляющей, %				
	C	W	Mo	V	Cr	Пластиночная	Стержневая	Скелетная	Ванад. карбидн.	Ледебурит
1	3,21	-	-	-	0,78	-	-	-	-	100
2	1,98	-	-	1,55	0,65	-	-	-	5	95
3	2,67	-	-	3,54	0,76	-	-	-	30	70

Результаты исследований. В данной работе исследовали закономерности структурообразования в ледебуритных белых чугунах, содержащих 1,98...3,21% C и 1,55...3,54% V. Данные микроструктурного и рентгеноструктурного анализа позволили установить, что в цементите этих сплавов происходит превращение:

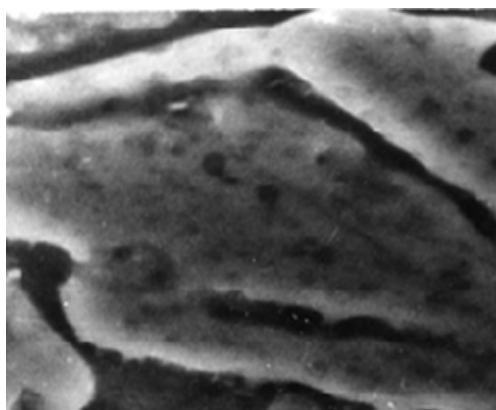


Первоначально при нагреве наблюдается расслоение, которое выявляется при использовании как оптической (Рис.1а,б), так и электронной микроскопии (Рис.1в-е).

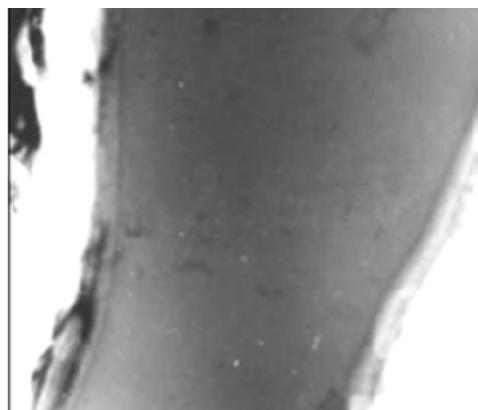
Использование режима фазового контраста в растровом электронном микроскопе JSM-35 фирмы «JEOL» (Рис.1в) позволило доказать, что в зонах, которые на (Рис.1а,б) выглядят более светлыми, содержится больше ванадия, а в темных участках больше железа, а ванадия меньше.

В работе удалось также провести исследования чугунных тонких фольг в колонне просвечивающего электронного микроскопа JEM-1000-9. Фольги из белого ледебуритного чугуна получали следующим образом. Образцы утоняли механически до 0,05-0,10 мм. Затем электродуговым методом вырезали шайбочки диаметром 3 мм и проводили процесс электрополировки. В качестве электролита использовали реактив Мориса. Напряжение, силу тока и температуру подбирали экспериментально так, чтобы получить приблизительно одинаковый растрав, как карбидной фазы, так и твердого раствора. При получении фольги применяли метод «ячейки», используя пинцет из нержавеющей стали с отверстиями диаметром от 1,5 до 3 мм. В результате растрова «дырочку» получали в середине шайбы. С появлением «ок-

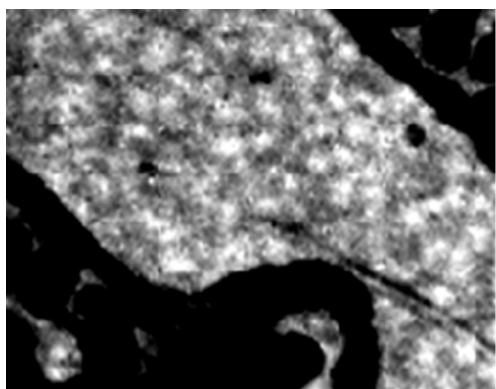
на» полировку прекращали и дотравливание в открытом пинцете не проводили. Образцы нагревали до 900 °С.



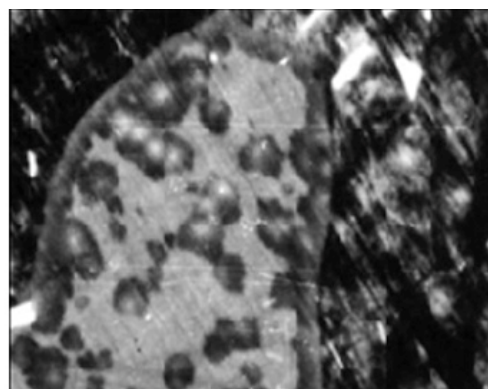
а



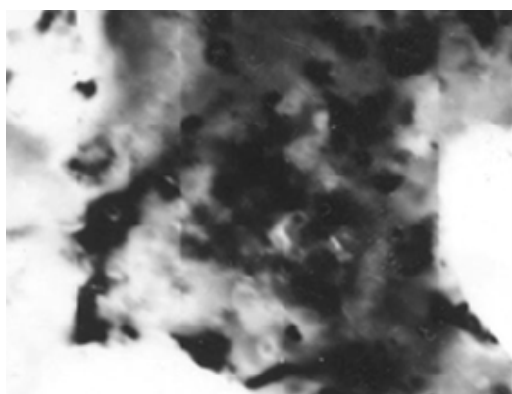
б



в



г



д



е

Рисунок 1 – Неоднородность в эвтектическом цементите, легированном ванадием: а,б - световая микроскопия, а – травление в кипящем растворе NaOH, б – тепловое травление, ×1500;
в – режим фазового контраста, ×2600;
г, д,е – просвечивающая электронная микроскопия ,Ч7500

Наблюдение осуществляли при увеличении 12000х - 25000х удалось проследить в динамике стадии распада легированного вана-

дием эвтектического цементита. При температуре около 400...500 °С начинается расслоение цементита, выявляются темные и светлые участки (Рис.1д), по мере увеличения времени выдержки модулированная структура грубеет (Рис.1е) Превращение развивается с высокой скоростью. Потеря когерентности проявляется в резком потемнении межфазных границ.

Применение растровой электронной микроскопии позволило получить дополнительные сведения о и промежуточной стадии карбидного превращения в легированной ванадием цементите. Использование режима формирования изображения в вторичных электронах (электронах образца, генерируемых первичными электронами зонда) обеспечивает высокое разрешение прибора - до 70 Å при ускоряющей напряженности 25 кВ. Кроме того, из-за сравнительно небольшой энергии вторичных электронов траектории их движения к счетчику искривляются полем коллектора, что делает возможны просмотр деталей, не лежащих в поле прямой видимости от детектора. Это позволяет уловить тонкие нюансы структурных и фазовых изменений в сплавах.

Для этого использовали блок усилителя, спомощью которого усиливалась только определенная (заранее выбранная) полоса видеосигнала. В случае, когда в пределах одного поля зрения встречались более или менее контрастные детали, применяли блок δ -контроля, ослабляющей контраст контрастных и повышающий контраст слабо-различимых структурных составляющих.

Для проведения фрактографических исследований предварительно проводили отслоение окисной пленки, образовавшейся при ускоренном охлаждении образцов с высоких температур после разрушения при горячем кручении.

Очистка от окалина производилась следующим образом: Первоначально образец погружали в 5%-ный раствор HCl на 7 - 10 сек, после чего переносили в 33%-ную перекись водорода, подогреваемую до 70 °С на водяной бане.

В течение 10-15 мин. происходило удаление окисляемого слоя. На рисунке 2 показаны участки излома частично очищенного от окалина (рис.2 а,б) и при полном ее удалении (рис.2в,г). Работа в режиме вторичных электронов требует большой рельефности поверхности образца, что достигалось глубоким растравливанием белых чугунов в кипящем щелочном растворе.

Глубокое травление цементита образцов подвергнутым различным тепловым обработкам позволило выявить и изучить с помощью растрового электронного микроскопа «JSM»- 35 фирмы «Джеол» структуру возникающего в карбиде $(\text{Fe,V})_3\text{C}$ расслоения при увеличении 4000 и более (Рис. 3). В кристалле легированного цементита формируются стержневые образования, имеющие когерентную границу с основной фазой. Расположение этих образований носит закономерный периодический характер и напоминает модулированную структуру, которая формируется, на первых этапах старения твердых растворов.

При исследовании структурных изменений в низколегированных (менее 0,5% вес хрома или ванадия) чугунах, в цементите которых никаких фазовых превращений не обнаружено, все же в некоторых случаях после термодеоформационного воздействия выявлялась неоднородность, напоминающая расслоение в легированном цементите (Рис. 4), хотя весьма слабого контраста. Легирующие элементы могут усиливать или скорее структурировать в той или иной мере возникающее в цементите расслоение.

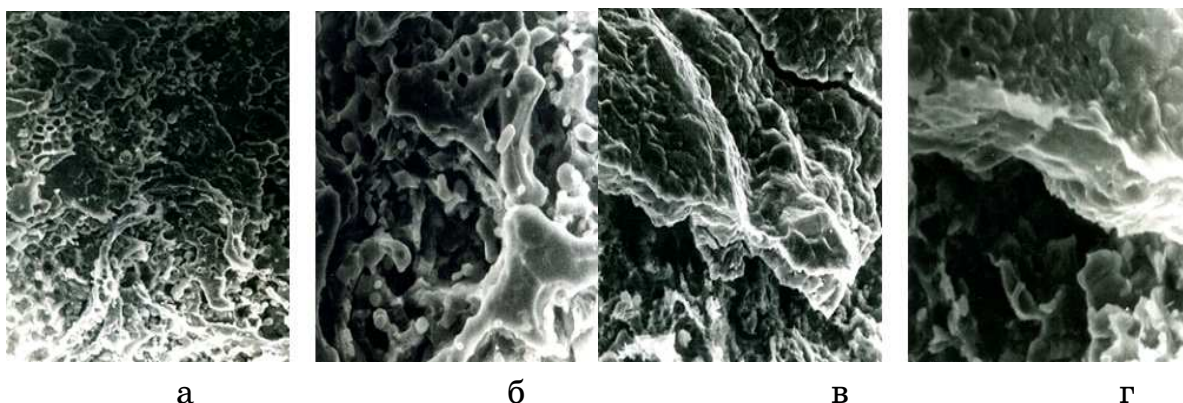


Рисунок 2 – Исследование изломов разрушенных при горячем кручении образцов с помощью РЭМ: а,в – Ч500; б,г – Ч1100

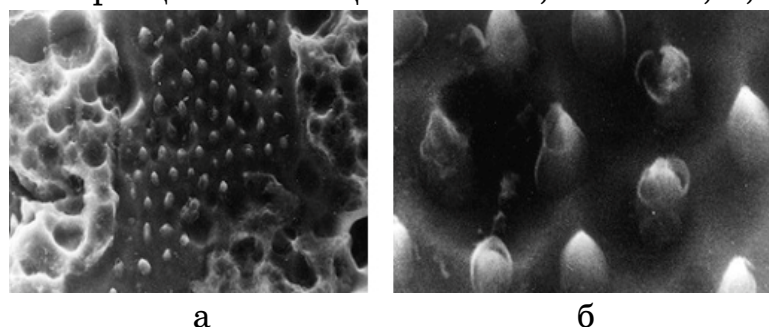


Рисунок 3 - Неоднородность в эвтектическом цементите, легированном ванадием - растровая электронная микроскопия:
а -Ч4000; б -Ч8000

Сопоставляя полученные в работе результаты микроструктурных исследований с анализом весьма дискуссионных литературных сведений о разнообразии и структурной близости карбидов железа [1,2], имеющих различный химический состав и соответственно различную стехиометрию, можно интерпретировать наблюдаемые модулированные структуры в цементите, как расслоение по углероду, которое влечет за собой некоторые отклонения от закономерного расположения в решетке цементита атомов, и как следствие формирования в этих объемах иной кристаллической структуры, присущей одному из описанных более высокоуглеродистых карбидов.

Введение карбидообразующих элементов в решетку Fe_3C может способствовать этой перестройке в том или ином направлении, то есть атомы замещения ванадия, хрома, молибдена, вольфрама, усиливая неоднородность, могут способствовать образованию различных фаз предвыделения (Е, Х и так далее) в зависимости от своей специфики и природы.

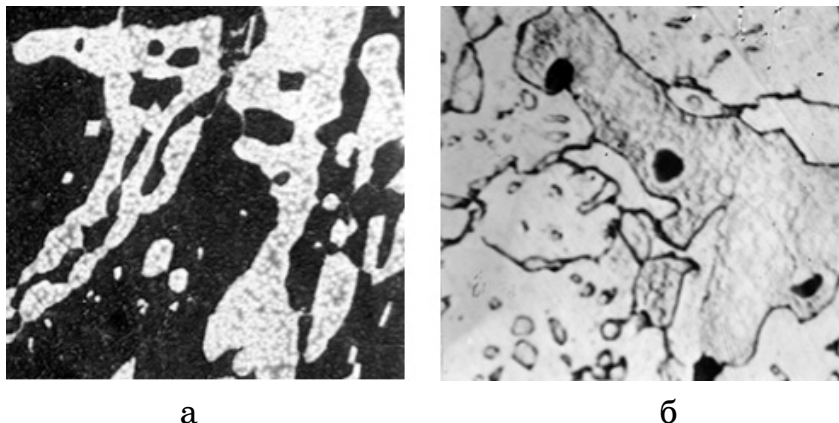


Рисунок 4 - Неоднородность в цементите низколегированных (до 0,5% Cr) чугунов после деформации и отжига: а – тепловое травление, $\text{Ч}800$; б – травление в NaOH . $\text{Ч}1200$ (темные включения - FeS)

Известно, что в системе C-V в области низких содержаний углерода стабильным является карбид V_2C . Тогда понятно, что термодинамически оправдано образование фазы $(\text{Fe},\text{V})_2\text{C}$. Кроме того, ванадий имеет меньший эффективный радиус, чем железо, за счет чего снижается объемный эффект превращения $\text{M}_3\text{C} \rightarrow \text{M}_2\text{C}$. На следующем этапе происходит образование кристаллов VC в объемах $(\text{Fe},\text{V})_2\text{C}$, граничащих с матричной цементитной фазой. Исследования глубоко-травленных образцов свидетельствуют о том, что эти кристаллы име-

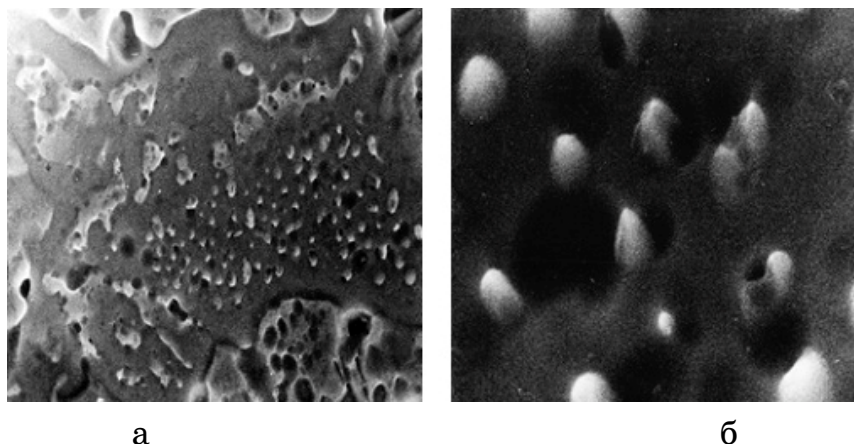


Рисунок 5 - Растровая электронная микроскопия глубокорастравленных образцов. Следы выделения карбидов VC при расслоении в легированном цементе: а – Ч4000; б – Ч10000

Термоциклическая обработка, вызывающая повышением дефектности цементита (увеличивает концентрацию вакансий) способствует более интенсивному выделению карбидов ванадия. В этом случае рост большинства частиц VC в цементитных кристаллах происходит без образования аустенитного ободка, характерного при превращениях в процессе длительных высокотемпературных выдержек. В этом же направлении на ход превращения влияет их предварительная пластическая деформация, а так же многоступенчатые отжиги с фазовой перекристаллизацией, которая вызывает фазовый наклеп и соответственно повышает дефектности цементита.

Выводы.

1. С помощью растровой и просвещающей электронной микроскопии удалось установить стадии предвыделения при распаде пересыщенного карбидообразующими элементами цементита, однако эти превращения нельзя однозначно квалифицировать как процесс старения пересыщенного твердого раствора.

2. Фазовые превращения, происходящие в карбиде $(\text{Fe,V})_3\text{C}$ следует квалифицировать как переход к более стабильным карбидным формам, причем главной движущей силой является не степень легированности цементита как таковая, а повышение его метастабильности в том числе и за счет пересыщения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карбидное превращение в литой стали Р6М5 при высокотемпературной обработке/ Ю.Н.Таран, П.Ф.Нижниковская, О.Н.Гришина, Г.Ф. Демченко.- МиТОМ, 1976, №II, с.37-40.
2. Миронова Т.М., Нижниковская П.Ф., Таран Ю.Н. Карбидное превращение в ледебурите Fe –C-V сплавов.- В кн.: Вопросы формирования метастабильных структур сплавов Днепропетровск, 181, с.132 – 137. (Труды/ Днепропетровский государственный университет).
3. Структурные изменения в эвтектиках стали Р6М5 или горячей пластической деформации / Таран Ю.Н., Нижниковская П.Ф., Миронова Т.М. и др., - Известия вузов. Черная металлургия, 1961, № 5, с.109-113.
4. К вопросу о составе и строении метастабильного карбида Me_2C в быстрорежущих сляках/ Ю.Н.Таран, П.Ф.Нижниковская, С.В.Вукелич, А.М.Нестеренко.- В кн.: Вопросы формирования метастабильной структуры сплавов. Днепропетровск, 1982, с.76-81. (Межвузовский сборник научных трудов).

А.А. Надточий

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ
МАРГАНЦА В СТАЛИ С ОПРЕДЕЛЕННЫМ
СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И ПОД ШЛАКОМ
ИЗВЕСТНОГО СОСТАВА**

Аннотация: Проведена термодинамическая оценка поведения марганца в стали при различных содержаниях углерода и под шлаком известного состава. Проанализирована термодинамическая возможность восстановления марганца углеродом и железом.

Ключевые слова: термодинамика, активность марганца, марганец равновесный со шлаком, основность, температура.

Введение. Для получения металла заданного состава, удаления вредных примесей из металла до заданного уровня, необходимо иметь шлак определенного состава и необходимую температуру системы металл-шлак. Термодинамические расчеты равновесий для реакций между шлаком и металлом позволяют установить наиболее благоприятные условия для процессов рафинирования металла от нежелательных примесей. В современных процессах получения стали имеет место интенсивное перемешивание газа, металла и шлака, что обеспечивает приближение системы к равновесию. Поэтому термодинамические расчеты равновесия реакций между шлаком и металлом оказываются весьма полезными для совершенствования процессов производства стали.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованию поведения марганца в процессе кислородно-конверторной плавки посвящено много работ, авторы которых пришли к противоречивым выводам. Одни [1-3] считают, что в течение продувки распределение марганца между металлом и шлаком далеко от равновесного и приближается к нему в конце продувки, другие [4] отмечают, что оно близко к равновесному в течение всей продувки. Имеются данные [5], согласно которым в процессе продувки система металл - шлак по распределению марганца не находится в равновесии и по ходу продувки

степень приближения к равновесию изменяется немонотонно и даже экстремально.

Основной материал исследований. Для того чтобы судить о поведении марганца под действием примесей в металле важно знать его термодинамическую активность и изменение последней под влиянием этих примесей. Коэффициенты активности марганца и других элементов в металле в данной работе определяли по методу К. Вагнера [6], с использованием известных параметров взаимодействия первого и второго порядков, приведенных в работе [7]. Результаты расчета влияния возможных примесей на коэффициент активности марганца представлены на рис. 1.

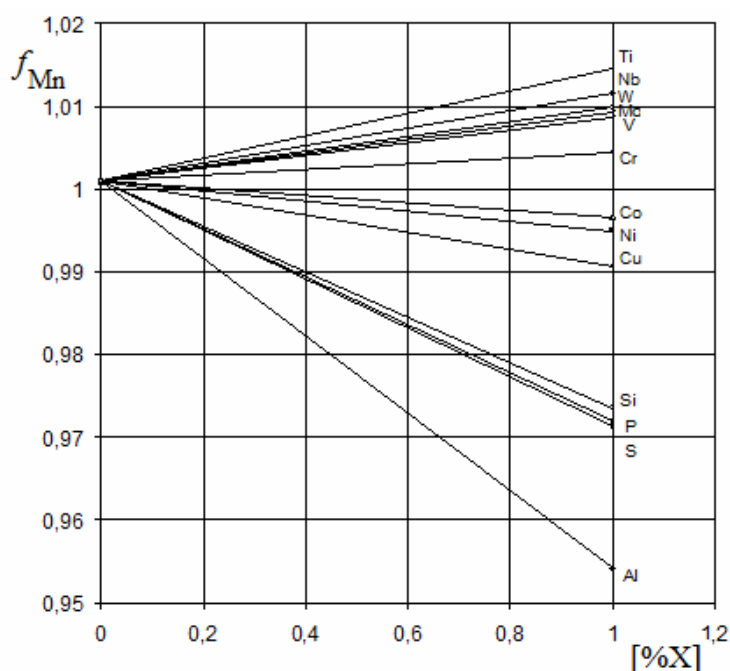


Рисунок 1 - Влияние примесей металла на коэффициент активности марганца в жидком железе при 1600 °C ([Mn] = 1%)

Таким образом, можно сделать вывод, что такие компоненты как Ti, Nb, W, Mo, V, Cr повышают активность растворенного в железе марганца, а элементы – Co, Ni, Cu, Si, P, S и Al – снижают активность марганца.

Расчет активности марганца в металлическом расплаве показал, что к повышению активности марганца ведет понижение содержания углерода в расплаве (см. рис.2, а), увеличение содержания кислорода в металле незначительно влияет на активность марганца

(рис. 2, б), однако повышение марганца в расплаве ведет к снижению активности кислорода (см. рис. 3).

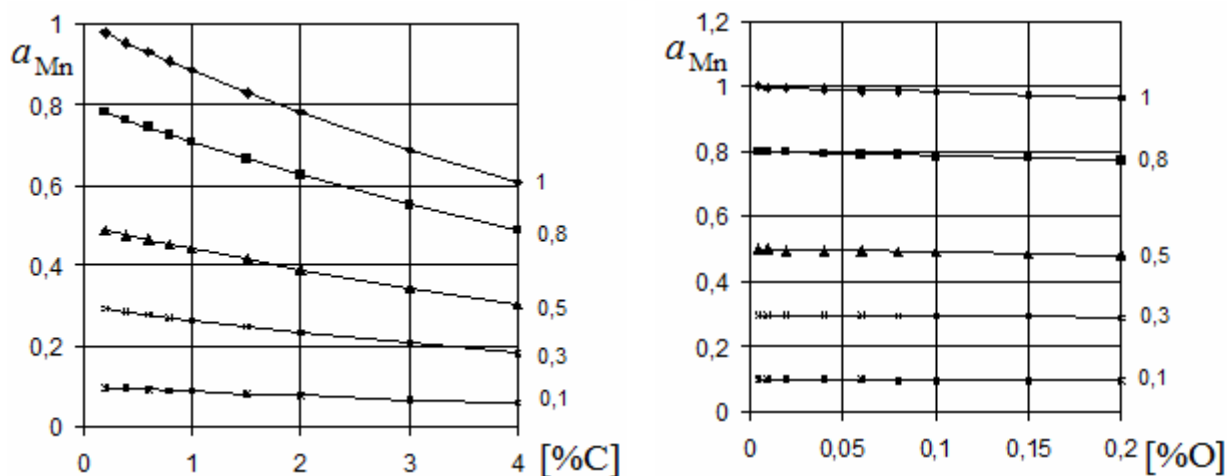


Рисунок 2 - Зависимость активности марганца от содержания углерода (а) и кислорода (б) при различных концентрациях марганца в расплаве при 1600 °С (цифры у кривых – концентрация марганца в расплаве)

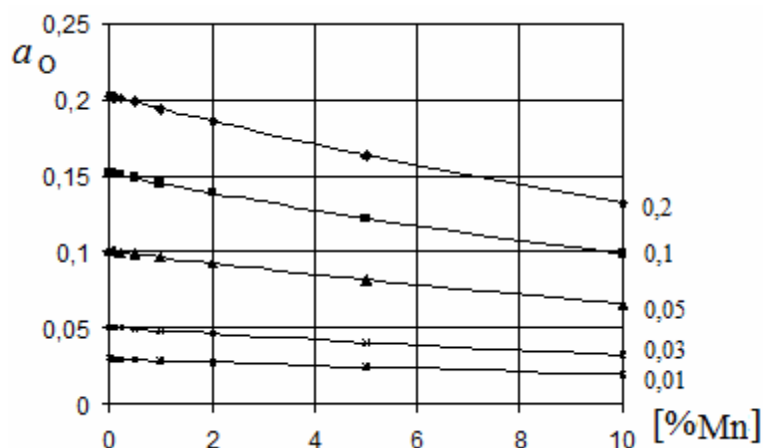


Рисунок 3 - Зависимость активности кислорода от содержания марганца при различных концентрациях кислорода в расплаве при 1600 °С (цифры у кривых - содержание кислорода в расплаве)

Проведен расчет активности оксида марганца в шлаковом расплаве, по химическому составу близкий к сталеплавильным шлакам, масс. %: 48 CaO, 16 SiO₂, 2 MgO, 5 Al₂O₃, 2 P₂O₅ на базе теории расплавленного шлака как фазы, имеющей коллективную электронную структуру [8]. Расчет произведен для температур 1300 – 1700 °С, при основности 1,5-3,5 и содержании оксида марганца в шлаке 2-12 %.

На активность оксида марганца в шлаковом расплаве влияет температура и основность. С повышением температуры активность

оксида снижается (рис.4), повышение основности шлака приводит к повышению активности оксида марганца (рис.5).

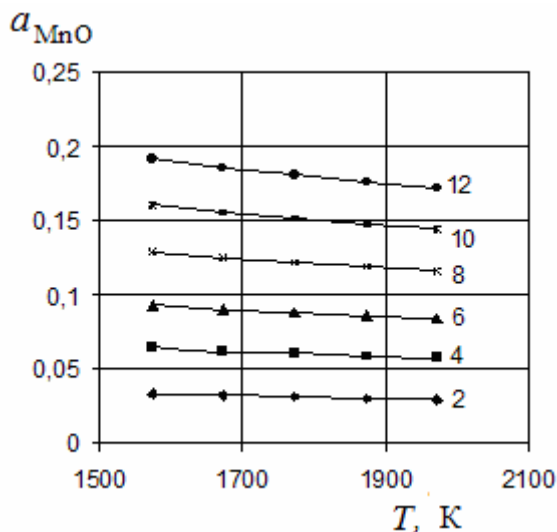


Рисунок 4 - Влияние температуры и содержания оксида марганца в шлаке на его активность (цифры у кривых - концентрация оксида марганца в шлаке)

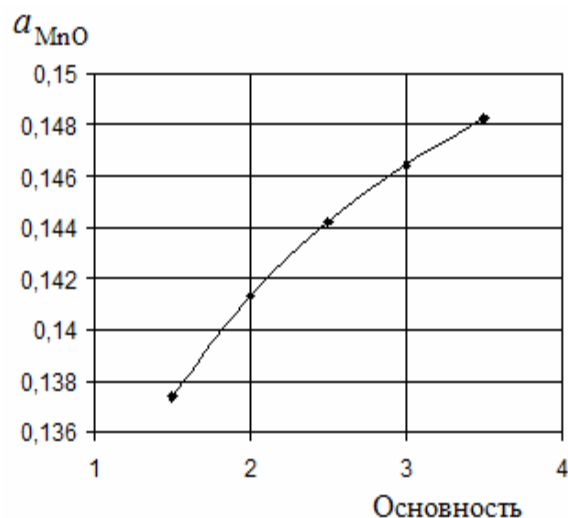


Рисунок 5 - Влияние основности на активность оксида марганца в шлаковом расплаве при 1600 °C и содержании оксида марганца в шлаке 10 %

Реакция окисления марганца, растворенного в жидком железе закисью железа шлака, записывается в виде



С учетом того, что коэффициент активности железа можно принять равным 1, равновесную концентрацию марганца [% Mn] можно определить из выражения для константы равновесия

$$[\% Mn] = \frac{a_{MnO}}{a_{FeO} \cdot K_1 \cdot f_{Mn}} \quad (2)$$

Представляет интерес термодинамическая оценка реальных значений содержания марганца в стали с определенным содержанием углерода. Поэтому проанализированы условия равновесия двух реакций, возможных на границе шлак-металл: реакции окисления марганца оксидом железа — реакция 1, и реакция восстановления оксида марганца углеродом — реакция 3.



Равновесную концентрацию марганца [% Mn] для реакции (3) можно определить из выражения

$$[\%Mn] = \frac{a_{MnO} \cdot a_C \cdot K_3}{f_{Mn}}. \quad (4)$$

Уравнения изменения энергий Гиббса для приведенных реакций (1) и (3) были получены с использованием данных [9-10] и имеет следующий вид

$$\Delta G_1^0 = -105358 + 43,28 \cdot T. \quad (5)$$

$$\Delta G_4^0 = 204709,5 - 105,93 \cdot T. \quad (6)$$

Для определения влияния основности шлака, температуры и содержания углерода на поведение марганца по реакциям (1) и (3) взят шлак состава, масс. %: 15 MnO, 5 Al₂O₃, 15 FeO, 10,7 MgO, 0,3 P₂O₅ при основности 1,5-3,5. Расчет проведен при температурах 1500, 1600 и 1700 °С и содержании углерода в металле от 0,1 до 1,2 %. Анализ результатов расчета влияния температуры и основности показал, что равновесный с железом марганец возрастает с повышением температуры и снижается со снижением концентрации углерода в металле (см. рис. 6). Влияние основности на марганец равновесный с железом не значительное.

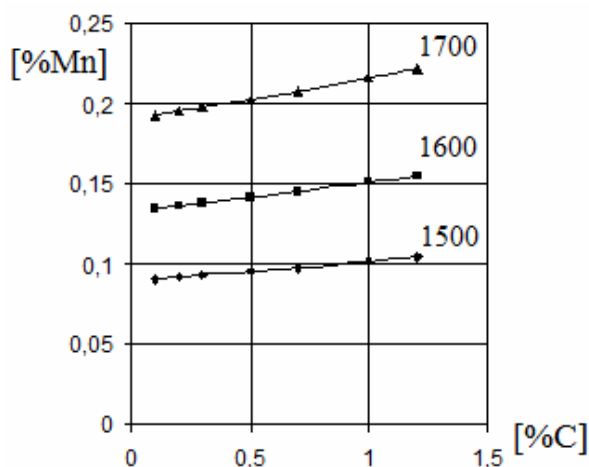


Рисунок 6 - Влияние концентрации углерода и температуры на значения равновесных с железом концентраций марганца при различных температурах (цифры у кривых – температура, °С)

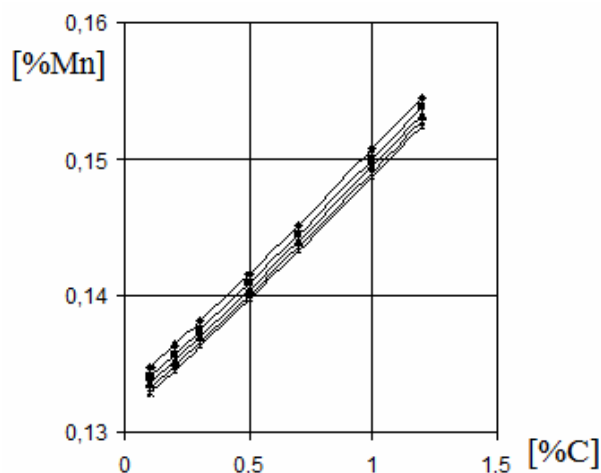


Рисунок 7 - Рассчитанные значения равновесных с железом концентраций марганца при 1600 °С и различной основности 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 (этим основностям соответствуют линии сверху вниз)

Сопоставление результатов расчетов при температуре 1600 °С и основности 2,5 по уравнениям (2) и (4) представлены на рис. 7, на котором можно выделить три участка: первый участок – преимущест-

венного восстановления марганца железом, второй – участок равной термодинамической возможности восстановления марганца как железом, так и углеродом, третий – участок преимущественного восстановления оксидов марганца из шлака углеродом ванны.

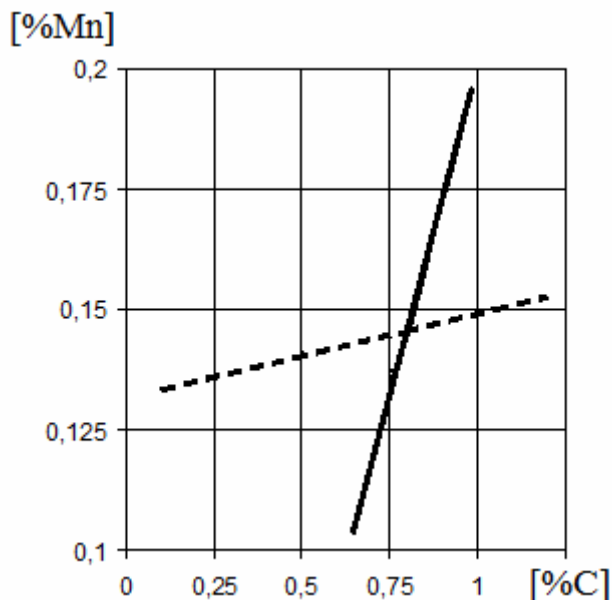


Рисунок 8 - Рассчитанные значения равновесных с углеродом (сплошные линии) и железом (пунктирные линии) концентраций марганца при 1600 °C

Как видно из рис. 8, при температуре 1600 °C около 0,13-0,15 % марганца находится в равновесии с железом, однако при содержании в стали более 0,8 % углерода восстановление марганца углеродом на границе шлак-металл протекает эффективнее.

Выводы. Установлено, что такие примеси стали как Ti, Nb, W, Mo, V, Cr повышают активность растворенного в железе марганца, а элементы – Co, Ni, Cu, Si, P, S и Al – снижают его активность. К повышению активности марганца также ведет понижение содержания углерода в расплаве, однако повышение марганца в расплаве ведет к снижению активности кислорода.

Установлено, что повышение температуры ведет к снижению активности оксида марганца в шлаке, а повышение основности шлака приводит к незначительному повышению активности оксида марганца.

Проанализирована термодинамическая возможность восстановления марганца углеродом и железом. Установлено, что при темпера-

туре 1600 °С около 0,13-0,15 % марганца находиться в равновесии с железом, однако при содержании в стали более 0,8 % углерода эффективнее на границе шлак-металл протекает восстановление марганца углеродом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарвин Е.Я. О распределении марганца и фосфора между металлом и шлаком в кислородно-конверторной ванне / Е.Я. Зарвин, М.И. Волович, А.Г. Чернятевич // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1975. - № 4. - С. 63 – 67.
2. Явойский В. И. Изменение окисленности металла в кислородном конвертере по ходу плавки / В. И. Явойский, М. Ф. Панин, Л. К. Беликов, В. П. Лузгин // Теория и технология новых процессов в производстве стали : Сб. статей / МИСиС, П. И. Полухин. – М. : Металлургия, 1968. - С. 86-92.
3. Квитко М.П. Кислородно-конверторный процесс / Квитко М. П., Афанасьев С. Г. - М. : Металлургия, 1974. - 343 с.
4. Арсентьев П.П. Конверторный процесс с донным дутьем / П.П. Арсентьев, М.П. Квитко. – М. : Металлургия, 1983. – 128 с.
5. Баптизманский В. И. Физико-химические основы кислородно-конверторного процесса / Баптизманский В. И., Охотский В. Б. – Киев-Донецк : Вища школа, 1981. - 184 с.
6. Вагнер К. Термодинамика сплавов / Вагнер К. - М. : Изд-во литературы по черным и цветным металлам, 1957. – 179 С.
7. Снитко Ю. П. Соотношение между параметрами взаимодействия и атомными характеристиками компонентов / Ю. П. Снитко, Ю. Т. Суровой, Н. П. Лякишев // Доклады АН СССР. - 1983. - Т. 268. - № 5. - С. 115-117.
8. Пономаренко А. Г. Вопросы термодинамики фаз переменного состава, имеющих коллективную электронную систему / А. Г. Пономаренко // Теория физической химии. – 1974. – № 7. – С. 1950-1958.
9. Казачков Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов / Е.А. Казачков. - М. : Металлургия, 1988. - 288 с.
10. Толстогузов Н.В. Некоторые термодинамические аспекты восстановления монооксида марганца при плавке стали / Н.В. Толстогузов, Н.А. Козырев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1994. – № 12. – С. 9-11.

V. Danilov, A. Zhyrova, A. Jirov

SUPPLY AND DEMAND MODEL-BASED ANALYSIS OF SELF-ORGANIZATION IN TOURISM

Abstract. This paper studies methods of research and state such economic categories as supply and demand depending on the price, which made it possible to allocate certain trends in the behavior of the tourist market in view of recessions and elevated. Proposed and practically tested model interdependence of supply and demand on the price of a mathematical model of the tourist area.

Keywords: Information technology; dynamic economic-mathematical model; demand; offer; elasticity of demand; elasticity of supply; tourist region.

Formulation of the problem. The dynamic of tourism and recreation development in terms of the institutionalization of social relations and functions require coordination of these activities with socio-cultural, natural and recreational, ecological, economic, informational and technological factors of regional and state levels.

Social tourism is an important component of the tourism industry. It includes rehabilitation and recreation of the general population at the lowest available prices.

We construct a mathematical model of market fluctuations, which formalizes the natural history of market processes.

The main part. The range of tourism products significantly affects on the development of the tourism industry and is a regulator of economic agents. Market mechanisms of tourism industry based on the supply and demand compliance law, the law of value, the law of the average rate of profit [1, p. 87].

We introduce the notation:

p - unit price of the goods or services;

q - supply of goods or services;

d - elasticity of demand.

Sensitivity of demand reaction to price changes - the relative change in demand per unit of relative price changes.

- $d > 1$ – price elastic demand;
- $d < 1$ – price inelastic demand;
- $d = 1$ – a unit price demand elasticity;
- s – the elasticity of the supply curve.

Price elasticity of supply – the relative change in the volume of supply per unit of relative price changes.

- $s > 1$ – price elastic supply;
- $s < 1$ – price inelastic supply;
- $s = 1$ – a unit price supply elasticity.

Demand and supply functions provided; can be written as

$$qp^d = p_r, \quad (1)$$

$$qp^{-s} = q_r, \quad (2)$$

where – the parameters of demand and supply curves .

Curves of demand and supply is a graphical display of demand functions and proposes. Equilibrium in an economy indicates an approximate balance between supply and demand. This is a situation where buyers and sellers agree to continue a certain time to buy and sell at a certain price. If demand grows, so does the cost, thus increasing the production and supply. Then there is a surplus of products, and prices are down. In such conditions in the economic system there oscillations. But such "self-organization" of the market is possible under certain restrictions that must be created by the country. The imbalance may cause due to natural disasters, the emergence of new technologies, inflation and so on. These trends must be considered taking into account the time, because there are instantaneous equilibrium (at constant proposal), medium-term equilibrium (for changes in supply and an unchanged number of firms) and continued equilibrium on the market.

The market price is influenced by many factors, but in a competitive market they operate only through demand and supply. Although we can assume that price changes create a number of independent random events. Market demand curve formalizes objective inverse relationship between price and volume of products or services that buyers are willing to buy. It should be noted that the demand for some travel products characterized by the relative sensitivity of consumers to price changes: a slight change in price leads to significant changes in the quantity purchased travel products [2, p.203]. Demand for such products is elastic. However, there are products for which consumers are relatively netlyvi

to change their prices: a significant change in price leads to only small changes in the number of purchases. This demand - inelastic.

For the analysis of market dynamics is convenient to consider economic factors as continuous variable. While this is often not the case, for example, prices can change quickly .

The system of differential equations can be written in this form

$$\frac{d\ln(p)}{d\tau} = p_r - qp^d \quad (3)$$

$$\frac{d\ln(q)}{d\tau} = q_r - qp^{-s} \quad (4)$$

or

$$\frac{dp}{d\tau} = p(p_r - qp^d) \quad (5)$$

$$\frac{dq}{d\tau} = q(q_r - qp^{-s}) , \quad (6)$$

where $\tau = t/T$ – given time;

t – current time;

T – certain time scale, such as season.

The model can be used for the qualitative analysis of the dynamics of market processes, but it can be useful in some practical cases, the presence of statistical information.

As a practical implementation of this model was investigated one of the important components of tourism activities in Ukraine - the social sciences. This includes the organization of rehabilitation and recreation of the general public at the lowest available prices.

In this paper conducted simulation quantity served tourists closed joint stock company for tourism and sightseeing "Ukrproftur", which in terms of a systematic approach is a complex dynamic system - because it includes operating 10 subsidiaries and 17 regional joint-stock companies, which control 69 tourist farms (hotels, tourist and recreational facilities, boarding houses, tourist camps and camping), 56 travel and tours, other departments, provides recreation and outdoor activities of all segments of the population.

As can be seen from Figures 1-2 , the prices of tourist services are increasing , despite the decreasing number of tourists (Figure 1).

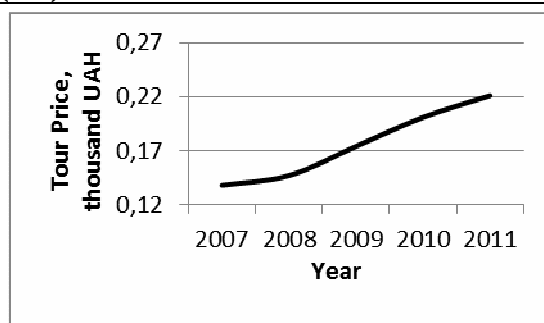


Figure 1 - Changes in prices for travel services

$$D = pq$$

On the basis of the system of differential equations (5) - (6) was carried out simulations of the process of travel services company JSC "Ukrproftur." According to initial data were taken statistics, 2007.

As can be seen from Figure 4 simulated data accurately reflect the statistics. Forecast for 2012-2013 years indicates, that it will be some observed growth rates and a slight decrease in tourists.

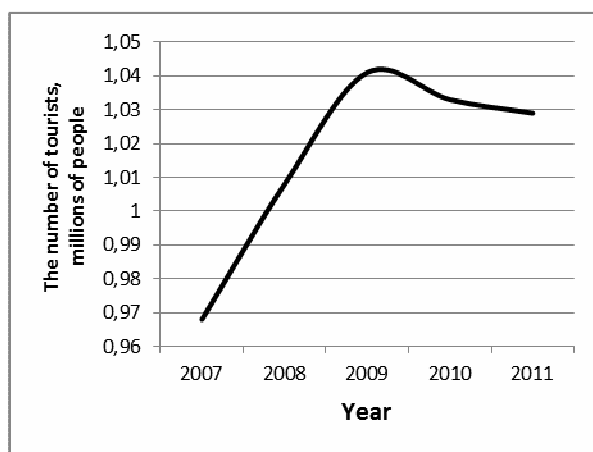


Figure 2 - Change in the number of tourists

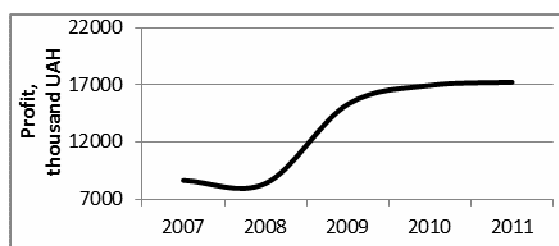


Figure 3 - Industry profit growth

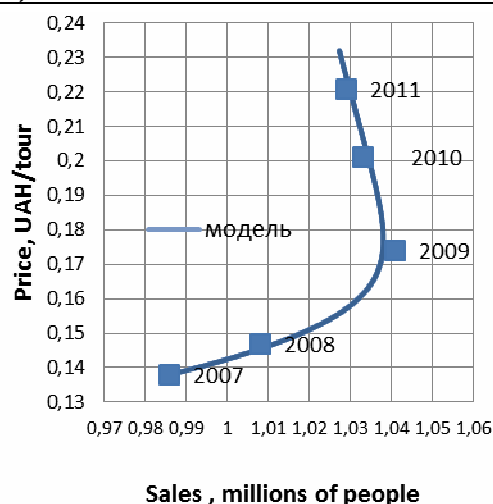


Figure 4 - Results of the modeling process of providing tourism services

$$(p_r = 1; q_r = 0,952; d = 0,06; s = -0,05)$$

In our opinion the forecast duration shall not exceed 1-2 years, because in today's world of late frequently encountered various unforeseen disasters (natural, political, economic). In the long-term forecasts are less accuracy as identifying trends [3, 4].

Conclusions. The mathematical model and accrued on the basis of the results of experimental studies can be used in the quality management system of tourist services as required by standards.

It is proposed to:

- To stimulate the growth of the role of tourism;
- Market reforms require comprehensive use of the variety of elements of tourism marketing;
- To identify the adequacy of the tourism product and market demands are constantly encouraged to analyze their own product, its structure, competitive ability and image;
- To study the demand for tourist services offered technique which involves an analysis of the species, temporal, spatial structures demand.

REFERENCES

1. Маршалл, А. Принципы экономической науки [Текст] / А. Маршалл [пер. с англ.]. - М. : Прогресс, 2005. - Т. II. - 252 с.
2. Пол А. Даниел. Мікроекономіка [Текст] / Пол А. Даниел, Вільям Д. Нордгауз [пер. з англ.]. - К. : Основи, 2006. - 675 с.
3. Єріна А.М. Статистичне моделювання та прогнозування: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2001. — 170 с.
4. Косенков С.І. Маркетингові дослідження.- К.: Скарби, 2004. -464 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ ПРИЁМА ТЕПЛА КОМБИНИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Анотация. Исследуется энергоперенос в теплоприёмниках комбинированных солнечных электростанций с параболоцилиндрическими концентраторами. В таких станциях одновременно осуществляется прямое и термодинамическое преобразование энергии Солнца. Математическая модель строится на основе классической системы уравнений Навье – Стокса с нелинейными граничными условиями. Система решена численно на основе метода контрольного объёма. Полученные уровни температур свидетельствуют о возможности использовании конструкции теплоприёмника с односторонним охлаждением солнечных элементов.

Ключевые слова: комбинированная солнечная электростанция, фотоэлектрическое и термодинамическое преобразование энергии Солнца, теплоприёмник, солнечные элементы, уравнение Навье – Стокса, численное решение.

Введение. Преобразование солнечного излучения, как в промышленных, так и в бытовых масштабах, в настоящее время в мире представлено в двух параллельных направлениях – термодинамическом и фотоэлектрическом. На стыке этих двух направлений возникла и активно развивается новая термофотоэлектрическая (photovoltaic thermal, PVT, PV-Thermal) технология, термодинамический цикл которой имеет квазибинарный характер [1]. На верхнем уровне такого цикла осуществляется фотоэлектрическое преобразование, остаточное тепло от которого утилизируется в классическом паротурбинном цикле нижнего уровня. Такой принцип построения увеличивает эффективность фотопреобразования, ведь известно, что его КПД существенно зависит от температуры и при её увеличении снижается. Кроме того, в комбинированных системах задействованным оказывается весь спектр энергии Солнца – от коротковолнового, создающего фотоэффект в солнечных элементах (СЭ), до инфракрасного, тепловая

энергия которого преобразуется в термодинамическом цикле в электричество. Таким образом, общий КПД такой системы носит ассоциативный характер и состоит из суммы фотоэлектрического и термодинамического.

Данная технология в быту представлена комбинированными энергосистемами, организованными по принципу «кремниевая солнечная панель + гелиоколлектор». Температурный уровень таких систем не предполагает наличие дополнительного термодинамического цикла, а излишек теплоты в солнечной батарее утилизируется теплоносителем, движущимся в канале [2]. PVT - коллекторы хорошо зарекомендовали себя в автономных системах энергоснабжения, а также как экологически чистые, энергосберегающие системы тепло- и электроснабжения, замещающие традиционные.

Использование PVT – технологии в промышленных масштабах возможно при создании солнечных термодинамических станций, в которых в первичный высокотемпературный контур теплоносителя будет введен слой фотоэлектрических преобразователей, генерирующих электрический ток. Такие СЭ могут быть расположены непосредственно в теплоприёмном канале классических паротурбинных солнечных станций с параболоцилиндрическими концентраторами, и охлаждаться теплоносителем, движущимся в этом канале. В качестве теплоносителя первичного контура термодинамических солнечных станций выступают синтетические масла или различные силиконовые соединения, температурный уровень которых находится в диапазоне $300^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ [3]. При таких температурах использование кремниевых элементов становится невозможным, и они заменяются арсенид галлиевыми. Относительная дороговизна арсенид галлиевых СЭ полностью компенсируется их высокой эффективностью (свыше 30%), причём наблюдается её рост под действием концентрированных тепловых потоков от Солнца (в 100 и более раз) [4]. Открытие такого теплофотовольтаического эффекта (Ж.И. Алферов, Нобелевская премия 2000 г.) позволяет для поддержания заданного уровня эффективности использовать значительно меньшее количество арсенида галлия, масса которого пропорциональна степени концентрации.

Слой арсенид галлиевых СЭ в теплоприёмном канале может располагаться на специальной перегородки внутри канала или непосредственно на стенке канала. В первом случае теплоноситель будет

конвективно охлаждать СЭ с двух сторон, однако при этом потребуются установка перегородки и системы коммутации внутри теплоприёмного канала [5]. При расположении СЭ непосредственно на стенке канала конструкция теплоприёмника значительно упрощается, тем самым обеспечивается его надёжность и долговечность.

Постановка задачи. Выбор конструкции теплоприёмника с односторонним охлаждением СЭ обусловлен особенностями функционирования параболоцилиндрических солнечных станций, в которых сконцентрированный пучок лучей попадает на относительно малую площадку поверхности теплоприёмника, расположенного в фокусе концентратора. Схема такого приёмника показана на рис.1.

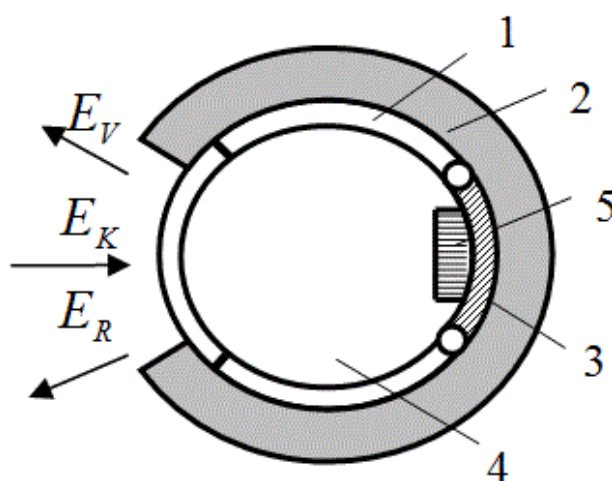


Рисунок 1 - Схема теплоприёмника односторонним охлаждением СЭ

Солнечные лучи E_K поступают в приёмное окно стеклянной трубы 1, свободное изоляции. Это окно покрыто просветляющим диэлектрично – селективным теплоотражающим «микросэндвич» – фильтром с высоким коэффициентом пропускания и низким коэффициентом собственного излучения. Наружная поверхность трубы, за исключением приёмного окна, снабжена анизотропной высокотемпературной изоляцией 2, что позволяет снизить молекулярно-кинетические, прежде всего конвективные потери E_V и обеспечить, вместе со сниженными лучистыми тепловыми потерями E_R , высокую эффективность системы приёма солнечного излучения. На задней внутренней стенке трубы смонтирована специальная опорная подложка 3 для СЭ с подведёнными к ней силовыми каналами. Таким образом, линейная батарея СЭ 5 омывается лишь с одной стороны оптически

прозрачным теплоносителем 4 системы охлаждения, который снимает сбросное тепло и передаёт его в циркуляционный и паросиловой контуры.

В теплоприёмниках подобного типа организуется ламинарный режим течения, при котором потери давления в тракте минимальны, а высокие значения коэффициента кинематической вязкости в достаточно узких каналах способствуют достижению высоких значений коэффициента теплоотдачи. Профиль скорости в этом случае является неизменным в каждом сечении канала и его значение может быть введено в уравнение энергии при условии независимости теплофизических свойств теплоносителя от температуры. С учётом вышесказанного математическая модель энергопереноса в теплоприёмниках комбинированных солнечных станций состоит из уравнения энергии:

$$W_Z(R) \frac{\partial \vartheta(R, \Theta, Z)}{\partial Z} = \frac{\partial^2 \vartheta(R, \Theta, Z)}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \vartheta(R, \Theta, Z)}{\partial R} + \frac{1}{4\pi^2 R^2} \frac{\partial^2 \vartheta(R, \Theta, Z)}{\partial \Theta^2}, \quad (1)$$

условия на оси потока:

$$\text{при } R=0, \quad 0 \leq \Theta < 1, \quad 0 < Z < \frac{L}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe}, \quad \frac{\partial \vartheta(0, \Theta, Z)}{\partial R} = 0, \quad (2)$$

условия на лучевоспринимающей поверхности:

$$\text{при } R=1, \quad \frac{h\Delta\theta}{2\pi} < \Theta < \frac{h_{\PhiЭП}\Delta\theta}{2\pi}, \quad 0 < Z < \frac{L}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe}, \quad \frac{\partial \vartheta(1, \Theta, Z)}{\partial R} = 0, \quad (3)$$

$$\text{при } R=1, \quad \frac{f_{\PhiЭП}\Delta\theta}{2\pi} < \Theta < \frac{f\Delta\theta}{2\pi}, \quad 0 < Z < \frac{L}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe}, \quad \frac{\partial \vartheta(1, \Theta, Z)}{\partial R} = 0, \quad (4)$$

$$\text{при } R=1, \quad \frac{f\Delta\theta}{2\pi} \leq \Theta \leq \frac{h\Delta\theta}{2\pi}, \quad 0 < Z < \frac{L}{R} \cdot \frac{1}{Pe},$$

$$-\frac{\partial \vartheta(1, \Theta, Z)}{\partial R} = (Ki - Sk(\vartheta(1, \theta_{f-h}, Z) + \bar{\vartheta})^4) \cdot A_1 - \frac{\overline{Nu}}{2} \bar{\lambda} \vartheta(1, \Theta_{f-h}, Z), \quad (5)$$

где A_1 – коэффициент, показывающий долю солнечного потока, что идёт на термический нагрев системы; Ki и Sk – критерии Кирпичёва и Старка соответственно; $f-h$ характеризует величину входного отверстия, свободного от изоляции, а $f_{\PhiЭП} - h_{\PhiЭП}$ – ширину слоя СЭ;

$$\text{при } R=1, \quad \frac{h_{\PhiЭП}\Delta\theta}{2\pi} \leq \Theta \leq \frac{f_{\PhiЭП}\Delta\theta}{2\pi}, \quad 0 < Z < \frac{L}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe},$$

$$\frac{\partial \vartheta(R, \Theta, Z)}{\partial R} = (Ki - Sk(\vartheta(R, \Theta_{h_{\PhiЭП} - f_{\PhiЭП}}, Z) - \bar{\vartheta})^4) \cdot A_2 - Ki_{\PhiЭП} + Ki_P, \quad (6)$$

где $Ki_{\PhiЭП} = \frac{P_{\PhiЭП} R_{TP}}{\lambda(T_{BX} - T_0)}$, $Ki_P = \frac{P \cdot R_{TP}}{\lambda(T_{BX} - T_0)}$, $P_{\PhiЭП} = q_{PE3} \cdot \eta_{\PhiЭП}$, $\eta_{\PhiЭП}$ –

коэффициент полезного действия СЭ; A_2 – коэффициент, показывающий долю солнечного потока, что идёт на термический нагрев СЭ.

Условие цикличности имеет вид:

$$\text{при } \Theta = 0, \Theta = 1, 0 < R < 1, 0 < Z < \frac{L}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe}, \vartheta(R, 0, Z) = \vartheta(R, 1, Z). \quad (7)$$

Уравнение теплопереноса для слоя СЭ толщиной δ :

$$0 = \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial X^2} + \frac{A_R((Ki - Sk(\vartheta(R, \Theta_{h_{\PhiЭП} - f_{\PhiЭП}}, Z) - \bar{\vartheta})^4) \cdot A_2 - Ki_{\PhiЭП} + Ki_P)}{\bar{\lambda}_{\PhiЭП}} e^{-A_R X}, \quad (8)$$

где $X = \frac{x}{R_{TP}}$ – безразмерная толщина слоя СЭ; $\bar{\lambda}_{\PhiЭП} = \frac{\lambda_{\PhiЭП}}{\lambda_{TH}}$ – коэффициент эффективной теплопроводности СЭ; $A_R = \alpha_L X$ – безразмерный коэффициент поглощения СЭ; α_L – линейный коэффициент поглощения СЭ.

Граничное условие на лицевой стороне СЭ:

$$\text{при } X = 0, \frac{h_{\PhiЭП} \Delta \theta}{2\pi} \leq \Theta \leq \frac{f_{\PhiЭП} \Delta \theta}{2\pi}, 0 < Z < \frac{L}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe},$$

$$\vartheta_{\PhiЭП}(X, Z) = \frac{Ki - Sk(\vartheta(R, \Theta_{h_{\PhiЭП} - f_{\PhiЭП}}, Z) - \bar{\vartheta})^4 \cdot A_2 - Ki_{\PhiЭП} + Ki_P}{Nu_{TH} \cdot \Delta_R} + \vartheta_{CP}(Z), \quad (9)$$

где $Nu_{TH} = \frac{\alpha_{TH} L}{\lambda}$ – число Нуссельта; ϑ_{CP} – относительная среднemasсовая температура теплоносителя в рассматриваемом сечении; $\Delta_R = \frac{R_{TP}}{L}$.

Граничное условие на тыльной стороне СЭ:

$$\text{при } X = \frac{\delta}{R_{TP}}, \frac{h_{\PhiЭП} \Delta \theta}{2\pi} \leq \Theta \leq \frac{f_{\PhiЭП} \Delta \theta}{2\pi}, 0 < Z < \frac{L}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe}, \frac{\partial \vartheta(1, \Theta, Z)}{\partial R} = 0. \quad (10)$$

Условие на входе в трубу:

$$\text{при } Z = 0, 0 < R < 1, 0 \leq \Theta < 1, \vartheta(R, \Theta, 0) = 1. \quad (11)$$

В качестве характерного размера при составлении математической модели была выбрана величина радиуса канала с теплоносителем R_{TP} . Тогда $R = \frac{r}{R_{TP}}$ – безразмерная радиальная координата,

$Z = \frac{z}{R_{TP}} \cdot \frac{1}{Pe}$ – безразмерная осевая координата, $\Theta = \frac{\theta}{2\pi}$ – безразмерная угловая координата. Выражение для безразмерной относительной избыточной температуры имеет вид $\vartheta(R, \Theta, Z) = \frac{T(r, \theta, z) - T_0}{T_{BX} - T_0}$, а профиль скорости $W_Z(R) = \frac{w_Z(r)}{w} = 2(1 - R^2)$.

Метод решения и анализ полученных результатов. Система уравнений (1) – (11) была решена численно методом контрольного объёма на основе локально-одномерной неявной схемы. В качестве теплоносителя выбиралось силиконовое соединение ПМС-10, имеющее наиболее удовлетворительные теплофизические, гидродинамические и оптические характеристики. Оно может быть рекомендовано для эксплуатации в широком диапазоне температур от -20°C до 400°C . Уровни температур комбинированных солнечных станций выбираются из соображений максимальной эффективности арсенид галлиевых СЭ и не превышают 200°C . Но на практике предпочтителен ещё более узкий температурный интервал $145^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$. Именно при таких температурах работают турбоагрегаты геотермальных станций, которые можно использовать в системе преобразования комбинированных станций.

На рис. 2. показано распределение относительной среднемассовой температуры теплоносителя вдоль канала, полученное на основе численных экспериментов.

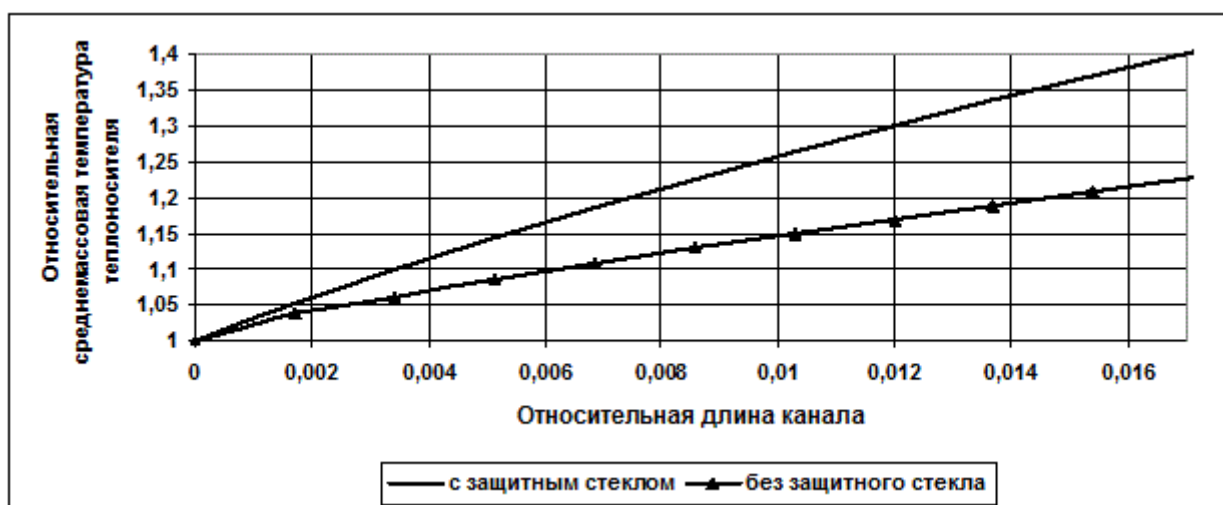


Рисунок 2 - Изменение относительной среднемассовой температуры теплоносителя по длине трубы

При их проведении предполагалось, что параболоцилиндрический приёмный модуль будет функционировать в центральных и южных областях Украины, где средняя скорость ветра составляет $w_V = 3,8 \text{ м/с}$.

На рис. 3. проиллюстрировано изменение температурных показателей внутри канала в случае замкнутой цепи (генерация электричества).

Представленные графики построены для случая, когда температура на входе в канал равнялась 145°C . При этом на выходе из теплоприёмника температурные характеристики теплоносителя и СЭ в абсолютных величинах равнялись 195°C и 205°C соответственно. Это в целом соответствует предполагаемым проектным параметрам, однако полученные значения близки к критическим, что необходимо учитывать при выборе схемного решения станции, а также типа используемых турбоагрегатов.

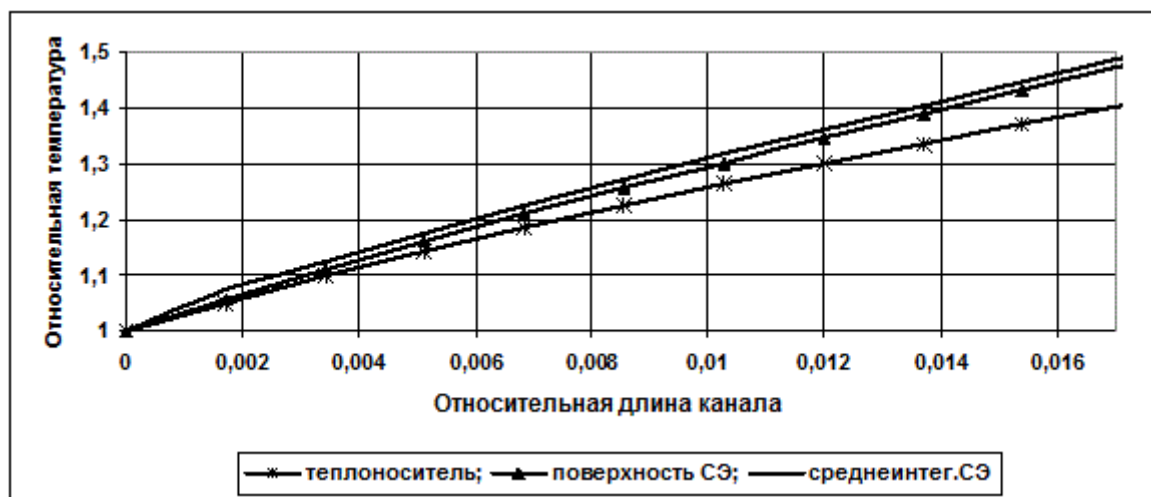


Рисунок 3 - Изменение температуры теплоносителя и СЭ по длине канала

Выводы. Исследования энергопереноса в теплоприёмнике комбинированной солнечной электростанции проведены с использованием созданной математической модели, которая базируется на системе уравнений Навье – Стокса. Проведенные численные расчёты показали возможность использования в таких системах теплоприёмников с односторонним охлаждением арсенид галлиевых солнечных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поливода Ф.И. Анализ эксергетической эффективности и КПД теплофотовольтаических систем / Ф.И. Поливода // Теплоэнергетика. – 1998. – №7. – С. 73–77.
2. Кныш Л.И. Выбор рациональных геометрических параметров комбинированной солнечной энергетической системы / Л.И. Кныш // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Механіка. – 2007. – №2/1 – С. 139 –145.
3. Stoddard L. Economic, Energy, and Environmental Benefits of Concentrating Solar Power in California / L. Stoddard, J. Abiecunas, R. O'Connell // Subcontract Report NREL/SR-550-39291 April 2006 - National Renewable Energy Laboratory – www.nrel.gov
4. Алфёров Ж.И. Тенденции и перспективы развития солнечной фото-энергетики/ Ж.И. Алфёров, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т.38, №.8. – С. 937 – 948.
5. Кныш Л.И. Определение температурных полей в теплоприёмнике комбинированной солнечной электростанции / Л.И. Кныш, В.А. Габринец // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Механіка. – 2012. – Т. 20, №5 – С. 108 – 113.

И.Л. Дякун

ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

Аннотация. В статье рассмотрены модель и методика расчета рациональных параметров пульсирующего потока, а также движения и горения угольной частицы в кипящем слое. Предложена эмпирическая зависимость эффективности процесса газообразования при выгорании горючих, учитывающая режимные параметры пульсирующего кипящего слоя. Проведены исследования закономерностей влияния амплитудно-частотных характеристик пульсирующей подачи воздуха на полноту выгорания угольных частиц в слое. Разработаны конструкции технических средств (пульсаторов), реализующих подачу пульсирующего воздуха в кипящий слой и обеспечивающих регулирование формы колебаний, а также скважности воздушного потока.

Ключевые слова. Кипящий слой, период, скважность, горение, пульсатор.

Мировая тенденция для угольных, горнодобывающих, металлургических и коксохимических предприятий заключается в их объединении в рамках одной технологической цепочки, позволяющей оптимизировать использование ресурсов, снизить затраты и выпускать продукцию с более высокой добавочной стоимостью. Для большинства угольных предприятий таким решением является внедрение энерготехнологической переработки низкосортного угля в кипящем слое. Важным преимуществом этой технологии является возможность ее реализации путем реконструкции существующих на каждом предприятии типовых котельных агрегатов с минимальными капитальными затратами. Конечными продуктами данной технологии являются летучие компоненты угля, которые с точки зрения экологической и экономической эффективности целесообразно использовать для газификации или сжигания, и твердый остаток с высоким содержанием углерода – кокс или полукокс, который можно использовать как тех-

нологическое топливо с более высокой потребительской стоимостью, чем исходный уголь [1].

Достоинства кипящего слоя отмечены многими исследователями и разработчиками, однако наряду с ними этой технологии присущи и недостатки [2]. Так, вызванное интенсивным перемешиванием твердых частиц выравнивание температур и концентраций в слое приводит к уменьшению движущей силы процесса. Иногда проскок значительных количеств газа без достаточного контакта с твердым зернистым материалом уменьшает выход целевого продукта и осложняет осуществление каталитических процессов, кроме того при недостаточном динамическом напоре воздуха происходит зашлаковывание межсоплового пространства и самих сопел воздухораспределительных колосниковых решеток. Устранение этих недостатков возможно при подаче в слой пульсирующего потока оживающего агента (газа, воздуха). При этом, управляя скоростью, частотой и скважностью пульсирующих струй оживающего агента в реакционной зоне, можно получить различную структуру потоков, интенсифицировать тепломассобменные процессы и повысить производительность агрегатов [3].

Основной целью данной работы является исследование пульсирующих режимов в технологических процессах кипящего слоя для обеспечения выравнивания хода процесса во всем объеме слоя и интенсификации межфазных переходов и химических реакций.

Рассмотрим математическую модель горения угольной частицы при пульсирующей подаче оживающего агента (газа, воздуха). В данном случае используется так называемый «одночастичный» подход к описанию поведения угольной частицы в потоке. При этом траектория и скорость перемещения частицы получены на основе анализа сил, действующих на частицу переменной массы в пульсирующем потоке газозвеси. На основе литературного анализа подобраны формулы для основных параметров газозвеси – порозности, плотности и вязкости, позволяющие учитывать нестационарность несущей фазы (импульса), а также влияние величин, определяющих характеристики слоя, – диаметров инерта и угольной частицы, температуры, плотности и вязкости газа или воздуха. Совокупность этих формул впервые применена в рамках одной модели [4]

$$\frac{d\delta}{dt} = -\frac{4D(c-c_0)}{\beta v \rho_s d_0^2 \delta} \left[1 + 0,276 \sqrt{\frac{d_0}{v_g}} |U - U_n| \right]; \quad \frac{dU}{dt} = 2g \frac{\rho_s - \rho_q}{2\rho_q + \rho_s} + \frac{36\mu_s(U - U_n)}{d_0^2 \delta^2 (2\rho_q + \rho_s)}; \quad (1)$$

где $\delta = d/d_0$ – относительный диаметр частицы; t – время; D – коэффициент диффузии; c_0, c – концентрация кислорода в потоке и на поверхности частицы соответственно; $\beta = 12/32$ – отношение молекулярных масс углерода и кислорода; V – стехиометрический коэффициент при углероде в уравнении реакции, протекающей на поверхности частицы; ρ_s, ρ_v – плотность газовой смеси и угольной частицы, соответственно; d_0 – начальный диаметр частицы; v_g – кинематическая вязкость газа; U – скорость перемещения частицы; $U_{\text{п}}$ – пульсационная скорость газовой смеси; μ_s – вязкость газовой смеси.

Система уравнений (1) решается методом Рунге-Кутты с начальными условиями $\delta = 1, U = 0$ при $t = 0$. В качестве параметра, характеризующего влияние пульсаций на скорость горения частицы при переменных параметрах потока, определялась величина относительного уменьшения времени горения

$$\theta = \frac{\Delta t_g}{t_{g0}} = \frac{t_{g0} - t_g}{t_{g0}},$$

где t_g, t_{g0} – время сгорания частицы в слое при пульсирующем и стационарном режиме подачи воздуха, соответственно. Очевидно, что чем больше значение θ , тем более эффективными можно считать режимные параметры пульсирующего потока. На рис. 1 показано относительное уменьшение времени горения в зависимости от скважности.

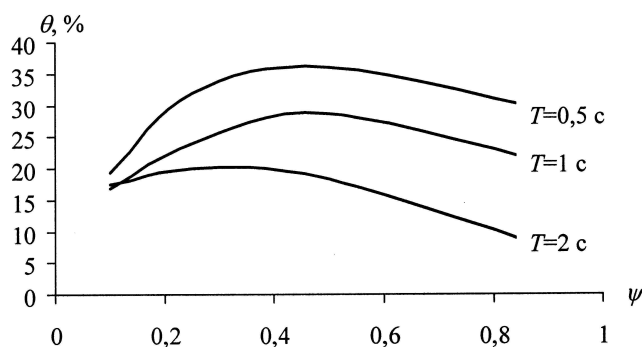


Рисунок 1 – Относительное уменьшение времени горения угольной частицы

Как видно из рис. 1, влияние изменения скважности пульсации на скорость горения угольной частицы можно описать как не прерывную функцию, имеющую максимум, смещающийся в сторону

меньших скважностей при увеличении периода пульсаций. Рациональными параметрами пульсаций являются период $T = 0,5 - 2$ с и скважность $\psi = 0,3 - 0,4$, что обеспечивает повышение скорости горения твердого топлива в пульсирующем кипящем слое по сравнению со стационарным на 20 – 40 %.

С использованием данной модели исследовано влияние формы пульсаций скорости воздуха на время нахождения угольной частицы в слое по сравнению с постоянным потоком газозвеси при равном расходе за период. В первом случае использовался пульсирующий поток с наложением поличастотной составляющей (рис. 2), а во втором случае подача воздуха в слой производилась импульсно-реверсивным способом (рис. 3) с импульсной подачей первичного воздушного потока в подрешеточную часть топки и вторичного потока – над слоем топлива.

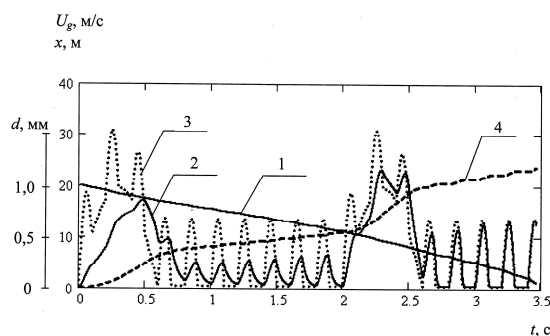


Рисунок 2 – Параметры процесса в поличастотном пульсирующем потоке:

1 – диаметр частицы; 2 – скорость частицы; 3 – скорость газа; 4 – путь частицы

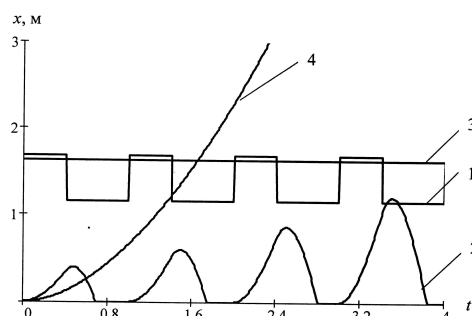


Рисунок 3 - Высота слоя и координата частицы в кипящем слое:

1, 2 – импульсно-реверсивная; 3, 4 – постоянная подача воздуха в слой

Исследования показали, что максимальная разница скоростей фаз газозвеси, состоящей из смеси инерта и угля, обеспечивающая полное выгорание частицы в слое при воздействии пульсирующих струй, достигается при скважности $\psi = 0,3 - 0,4$.

Расчет газообразования при горении твердого топлива в кипящем слое проводят по методике [5]. Особенность пульсирующего режима, а именно, зависимость от времени процесса требует расчета среднеинтегрального за период пульсации значения данных, что затрудняет анализ при проведении исследований по этой методике. Нами впервые была получена эмпирическая зависимость, позволяющая

провести качественный анализ эффективности выгорания топлива в слое при изменении различных параметров как слоя газозвеси, так и пульсирующего потока воздуха

$$\phi(z) = A[1 - \exp(-Bz)]; \quad (2)$$

$$A = 0,64 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{0.1} \left(\frac{k_1}{k_2} \right)^{-0.09} Pe^{-0.15} \psi^{-0.05};$$

$$B = 966,85 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{0.1} \left(\frac{k_1}{k_2} \right)^{-0.1} Pe^{-0.65} \psi^{-0.15}.$$

где z – относительная массовая концентрация горючих компонентов в слое; H_0 – начальная высота слоя; d_i – диаметр частиц инерта; k_1 , k_2 – константы скорости реакций; Pe – критерий Пекле; ψ – скважность потока.

При пульсирующей подаче воздуха зависимость функции выгорания (2) твердого топлива в газозвеси от относительной массовой концентрации горючих компонентов z в слое описывается сложной линейной функцией относительно экспоненты с отрицательным аргументом, коэффициенты которой обратно пропорциональны критерию Пекле, скважности пульсаций, а также отношению величин констант скоростей химических реакций и соотношению таких параметров газозвеси, как начальная высота слоя и диаметр частиц инерта.

На рис. 4, 5 представлены результаты сравнения расчетных данных для стационарного и пульсирующего потоков.

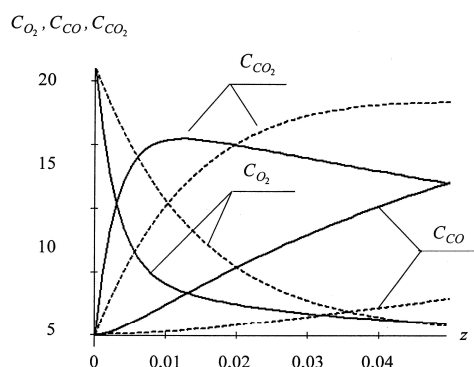


Рисунок 4 – Изменение состава продуктов сгорания

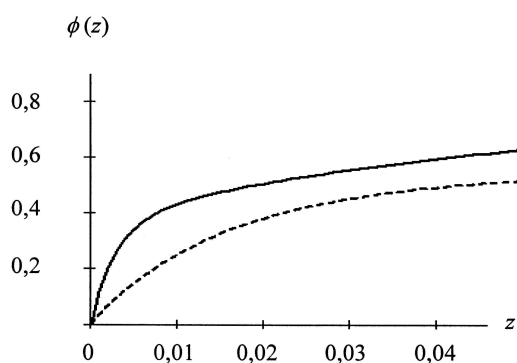


Рисунок 5 – Изменение функции выгорания $\phi(z)$

Как видно из рис. 4, пульсационная подача воздуха приводит к существенному возрастанию содержания в газах оксидов углерода, а также росту потребления кислорода воздуха, что приводит к увели-

чению скорости выгорания топлива, т.е. к увеличению безразмерной функции выгорания (рис. 5). Исследования показали повышение эффективности процессов газообразования в слое на 20 % – 50 % при применении пульсирующей подачи воздуха при концентрации горючих в слое $z = 0,04 \div 0,01$.

Подача пульсирующего воздуха осуществляется с помощью пульсатора. Анализ технических средств подачи пульсирующего потока воздуха показал, что известные конструкции не позволяют регулировать скважность импульсов подаваемого воздуха и отличаются конструктивной и технологической сложностью, а также высоким аэродинамическим сопротивлением [6]. Специалистами ИГТМ НАН Украины были разработаны конструкции пульсаторов следующих типов: пульсатор с трехлопастной крыльчаткой [7], пульсатор со щелевым ротором [8], дисковый пульсатор [9], позволяющие регулировать скважность потока и форму пульсаций.

Выводы. Впервые предложены научные основы расчета параметров процессов в кипящем слое при пульсирующей подаче воздуха в слой. Для реализации теоретических предпосылок разработаны различные конструкции пульсаторов. Исследования показали, что при рациональном управлении параметрами организованной пульсации несущей фазы достигается более равномерное протекание процессов по сечению и высоте кипящего слоя, повышается эффективность теплопередачи как в результате влияния на кинетику реакций угольных частиц, так и благодаря улучшению аэродинамики слоя, ликвидации застойных зон и локализованного движения газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчевой Ю.П. Экологически чистые угольные энерготехнологии / Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко, А.И. Топал. – К : Наукова думка, 2004. – 186 с.
2. Баскаков А.П. Котлы и топки с кипящим слоем / А.П. Баскаков, В.В. Мацнев, И.В. Распопов. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 352 с.
3. Рассудов Н.С. О применении импульсной подачи воздуха в топках с кипящим слоем / Н.С. Рассудов, А.Е. Варламова // Теплоэнергетика. – 1983. – № 1. – С.27-30.

4. Булат А.Ф. Научно-технические основы создания шахтных когенерационных энергетических комплексов / А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис – К.: Наукова думка, 2006. – 175 с.
5. Мунц В.А. Расчет газообразования при горении твердого топлива в кипящем слое / В.А. Мунц, А.П. Баскаков, А.А. Ашихмин // ИФЖ. – 1988. – т. 54, № 3. – С. 432 – 438.
6. А.с. 1597637 СССР, 5 G 01 L 27/00. Устройство для колебаний газового потока /Б.М. Галицейский, Н.Н. Иноземцев, А.Л.Ложкин, А.А. Ноздрин.- № 4465543/24-10; Заявл. 26.07.88; Оpubл. 07.10.90, Бюл. № 37//Открытия. Изобретения.– 1990. – № 37
7. Пат. 66646А Україна, (51) МПК 7 G01L27/00, F15B21/12. Пристрій для створення пульсуючих повітряних потоків у топці з киплячим шаром / Чемерис І.Ф., Булат А.Ф., Возиянов В.С., Слободяникова І.Л. (Дякун І.Л.); заявник та патентовласник ІГТМ НАНУ. – № 2003087753; заявл. 15.08.2003; опубл. 17.05.2004, Бюл. № 5.
8. Пат. 4855 Україна, (51) МПК 7 G01L27/00, F15B21/12. Пристрій для створення пульсуючих повітряних потоків у топці з киплячим шаром / Чемерис І.Ф., Булат А.Ф., Возиянов В.С., Слободяникова І.Л. (Дякун І.Л.); заявник та патентовласник ІГТМ НАНУ. – № 20040503291; заявл. 05.05.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2.
9. Пат. 7783 Україна, (51) МПК 7 G01L27/00, F15B21/12. Пристрій для створення пульсуючих повітряних потоків у топці з киплячим шаром / Чемерис І.Ф., Булат А.Ф., Возиянов В.С., Слободяникова І.Л. (Дякун І.Л.); заявник та патентовласник ІГТМ НАНУ. – № 20041108903; заявл. 01.11.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.

СОДЕРЖАНИЕ

Шерстюк Д.Г., Кулик А.В., Май А.М.Оценка точности геометрических параметров крупногабаритных
обечаек в процессе термомеханического калибрования на основе
аналитического расчета некруглости 3**Товт Б.М., Бондаренко Л.М.**

Визначення коефіцієнту, що враховує тертя реборд кранових коліс 10

Зворыкин В.Б., Станчиц Г.Ю.Коррекция САР скорости при наличии упругой связи двигателя с
механизмом и больших коэффициентах соотношения инерционных
масс 16**Matveeva M.O., Bepal'ko V.N., Zhilenkova E.V., Klimovich B.V.**Analysis of Titanium Micro-Alloying Influence on Phase
Transformations in the Mottled Cast Irons 19**Аскеров Х.А.**Влияние карбонитридов ванадия и ниобия на структурообразование и
изменение механических свойств строительных сталей после
термической обработки..... 30**Кадильникова Т.М., Величко Н.А., Кулик В.А.**Методология постороения системы контроля текущего состояния
инновационного проекта..... 36**Хандецкий В.С., Герасимов В.В.**Вплив віконних функцій на розпізнавання сигналів в дефектоскопії
композитних матеріалів 42**Коваленко И.И., Приходько С.Б., Пугаченко Е.С., Швед А.В.**Графодинамическое имитационное моделирование задач управления
составом организационных систем..... 50**Заморёнов М.В., Голиков С.Е.**Имитационная модель функционирования автоматизированной
банковской информационной системы с резервированием..... 61**Meshaninov S.K.**Estimation of reliability of functioning of the control-testing electronic
systems with the use of task about a maximum of product 70**Малайчук В.П., Огоренко В.В., Клименко С.В.**Обработка нечетких решений в задачах компьютерного
психометрического тестирования..... 75**Selivyorstov V., Selivyorstova T.**Optimizing the design and outer dimensions of the sealing refrigerator
using computer modeling technologies 82

Яшина К.В., Садовой А.В., Яловая Е.Н., Завгородний В.В. Алгоритм управления активной мощностью дуговой сталеплавильной печи	90
Короткая Л.И. Способы формализации неточных данных в задачах прогнозирования долговечности корродирующих конструкций	98
Filonenko V.O. Use of fourier analysis for the identification of pulse Elliot Waves...	106
Слесарев В.В., Малиенко А.В. Разработка метода расчета оперативных графиков работы горнотранспортной сети	110
Миронова Т.М., Донская Т.Р. Исследование карбидных превращений в белых чугунах с помощью электронной микроскопии.....	117
Надточий А.А. Термодинамическая оценка поведения марганца в стали с определенным содержанием углерода и под шлаком известного состава	126
Danilov V., Zhyrova A., Jirov A. Supply and demand model-based analysis of self-organization in tourism	133
Кныш Л.И. Математическое моделирование энергопереноса в системах приёма тепла комбинированных солнечных энергоустановок.....	138
Дякун И.Л. Влияние пульсаций газового потока на стабилизацию процессов Горения в кипящем слое	146

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.78

Шерстюк Д.Г. **Оцінка точності геометричних параметрів великогабаритних обичайок в процесі термомеханічного калібрування на основі аналітичного розрахунку некруглими** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.3 - 9.

Одними з найважливіших характеристик виробів ракетно-космічної техніки є їх надійність і високу якість, які у багато забезпечуються високою точністю і відпрацьованими технологіями виробництва. До таких виробів з підвищеними вимогами точності відносяться тонкостінні зварні великогабаритні конструкції (обичайки) головного аеродинамічного обтічника РН "Циклон-4".

На підставі аналізу існуючих методик і вимог розрахунку показав, що однією з ключових показників при проведенні термомеханічного калібрування є перехід від локальної еліптичності до загальної некруглими.

Бібл. 12, іл. 1, табл. 5

УДК 531.3

Товт Б.Н. **Определение коэффициента, учитывающего трение реборд крановых колёс** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.10 - 15.

В статье выполнено исследование по процедуре определения коэффициента, учитывающего трение реборд крановых колёс. Показано, что аналитически можно выделить из общей величины сопротивления от трения в ходовых частях кранов составляющую, приходящуюся на трение реборд.

Библ. 4, илл. 1.

УДК 621-83 681.51

Зворикін В. Б. Станциц Г.Ю. **Корекція САР швидкості при наявності пружного зв'язку двигуна з механізмом і великими коефіцієнтами співвідношення інерційних мас** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.16 - 18.

У роботі досліджене настроювання контуру швидкості при наявності пружного зв'язку двигуна з механізмом і великим співвідношенням інерційних мас. Отримано вираження для розрахунку регулятора швидкості, що дозволяють одержати перехідні процеси по швидкості виконавчого органа з перерегулюванням, що відповідає настроюванню на модульний оптимум.

Бібл. 3.

УДК 620.17

Аскеров Х.А. **Влияние карбонитридов ванадия и ниобия на структурообразование и изменение механических свойств строительных сталей после термической обработки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.30 - 35.

Бібл. 9.

УДК 330.341

Кадильникова Т.М., Величко Н.А., Кулик В.А. **Методология построения системы контроля текущего состояния инновационного** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.36 - 41.

Современные инновационные проекты представляют собой сложные системы мероприятий, взаимообусловленные и взаимосвязанные между собой исполнителями проекта по срокам исполнения, ресурсам, стоимости отдельных частей и всего проекта в целом, направлены для достижения конкретных целей в приоритетных направлениях развития науки и техники.

Бібл. 8, табл..1

УДК 620.179.14

Хандецкий В.С., Герасимов В.В. **Влияние оконных функций на распознавание сигналов в дефектоскопии композитных материалов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.42 - 49.

Досліджено вплив віконних функцій при спектральних перетвореннях у дефектоскопії композитних матеріалів на розрізнюваність сигналів. Застосування віконної функції Гауса приводить до підвищення чутливості спектрального методу ідентифікації до коротких поверхневих тріщин на фоні шуму.

Бібл. 8, іл. 3.

УДК 65.012

Коваленко І.І., Приходько С.Б., Пугаченко К.С., Швед О.В. **Графодинамічне моделювання задач управління складом організаційних систем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.50 - 60.

Розглядається новий підхід до імітаційного моделювання ієрархічних організаційних структур на основі процедур теорії графодинамічних систем, який дозволяє виконувати перетворення ієрархій для вирішення різноманітних задач їх оптимізації.

Бібл. 12, іл. 4., табл. 1

УДК 004.9:336.71

Заморьонов М.В., Голіков С.Є. **Імітаційна модель функціонування автоматизованої банківської інформаційної системи з резервуванням** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.61 - 69.

У статті показано роль операційних ризиків в загальній структурі банківських ризиків. З метою зниження інформаційно-технологічних ризиків описана адаптивна програмна інфраструктура банківської автоматизованої системи. Запропоновано імітаційну модель функціонування сервера додатків, для якого реалізовано резервування заміщенням. Отримано коефіцієнти використання для резервують серверів.

Бібл. 6, іл. 2, табл. 1.

УДК 658.513.012.12

Мещанинов С.К. **Оценка надежности функционирования контролирующе-управляющей электронной системы с использованием задачи о максимуме произведе-**

дения // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.70 – 74.

Цель работы состояла в исследовании возможностей использования задачи о максимуме производства применительно к оценке и расчету надежности функционирования контролирующее-управляющих электронных систем. Представлены результаты аналитических исследований оценки надежности и эффективности использования контролирующее-управляющей электронной аппаратуры как сложной технической эволюционирующей системы с использованием задачи о максимуме производства. Рассмотрена классификация факторов, определяющих эффективность функционирования электронной аппаратуры различного назначения. Получены аналитические выражения, позволяющие выбирать оптимальное соотношение между безопасным и наиболее эффективным режимами эксплуатации электронных систем.

Библ. 3.

УДК 510.649

Малайчук В.П., Огоренко В.В., Клименко С.В. **Обработка нечетких решений в задачах компьютерного психометрического тестирования** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.75 – 81.

Предлагается методика повышенной информативности для обработки результатов психометрического тестирования как нечеткого множества логико-лингвистических ответов-решений на вопросы теста, и оценивать исследуемые свойства личности уровнями их принадлежности человеку и степени его нерешительности при принятии нечетких решений.

Библ.1, табл.4, ил.3.

УДК 004.942, 621,744

Селиверстов В.Ю., Селиверстова Т.В. **Оптимизация конструкции и размеров герметизирующего наружного холодильника с использованием компьютерных моделирующих технологий** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.82 – 89.

Представлены результаты компьютерного моделирования процесса затвердевания стальных отливок в кокиле с использованием наружного холодильника. Определено влияние конструктивных особенностей и материала наружного холодильника на процесс герметизации отливок из углеродистой и штамповой инструментальной стали.

Рис. 6, таблица 1, библ. 7.

УДК 669.187.004.18

Яшина К.В., Садовой О.В., Ялова К.М., Завгородній В.В. **Алгоритм керування активною потужністю дугової сталеплавильної печі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.90 – 97.

Наведено новий алгоритм керування активною потужністю, що подається до дугової сталеплавильної печі (ДСП). Розроблений алгоритм заснований на комплексній математичній моделі ДСП та складанні матеріального та енергетичного балансів агрегату.

Бібл. 5, іл. 1, табл. 3.

УДК 004.8:004.94

Коротка Л.І. **Способи формалізації неточних даних в задачах прогнозування довговічності кородуючих конструкцій** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.98 – 105.

Проведено аналіз способів формалізації неповної або неточної інформації про параметри зовнішнього агресивного середовища при розв'язанні задач прогнозування довговічності кородуючих конструкцій зі змінними геометричними характеристиками. Для опису нечітких даних використано математичний апарат теорії нечітких множин та інтервального аналізу. Розглянуто можливості використання запропонованих підходів. Проведено чисельні експерименти та отримано їх результати.

Бібл. 8, іл.. 2, табл.. 1.

УДК. 336.764/.768:004

Філоненко В.О. **Застосування аналізу Фур'є для ідентифікації імпульсної хвилі Еліота** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.106 – 109.

Розглядається хвильова теорія Еліота як індикатор розвороту тренду. Запропоновано новий індикатор для підтвердження присутності імпульсної хвилі Еліота. Цей індикатор використовує перетворення Фур'є для обраних даних і показує гармоніку що є складовою імпульсу третьої хвилі. Показано можливість використання даного індикатора для обраної хвилі.

Бібл. 4, іл. 3.

УДК 622.489:658.012.011

Слесарев В.В. Малиенко А.В. **Разработка метода расчета оперативных графиков работы горнотранспортной сети** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.110 – 116.

Разработан метод расчета оперативных графиков транспортной сети угольной шахты в задачах оперативного управления. При этом сделан упор на использование данных по директивным объемам транспорта угля, подлежащим распределению в транспортной сети угольной шахты. Рассмотрен вариант функционирования транспортной сети в дискретные моменты времени. Определена формульная часть для физического осуществления транспорта угля.

Библ. 3.

УДК 699-1

Миронова Т.М., Донская Т.Р. **Исследование карбидных превращений с помощью электронной микроскопии** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.117 – 125.

В работе представлены результаты комплексных исследований вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей и белых ледебуритных чугунов, легированные ванадием. Применение специальных методов травления образцов позволило использовать растровую электронную микроскопию для изучения закономерностей фазовых превращений в метастабильных эвтектических карбидах. В работе удалось наблюдать стадии распада легированного ванадием цементита при исследовании чугуновых фольг.

Библ. 4.

УДК 669.184.1:669.74

Надточій А.А. **Термодинамічна оцінка поведінки марганцю в сталі з певним вмістом вуглецю і під шлаком відомого складу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.126 – 132.

Проведена термодинамічна оцінка поведінки марганцю в сталі при різному вмісті вуглецю і під шлаком відомого складу. Проаналізована термодинамічна можливість відновлення марганцю вуглецем і залізом.

Бібл. 10, іл. 8.

УДК 330:519.25

Данилов В.Я., Жирова А.О., Жиров О.Л. **Аналіз процесів самоорганізації соціального туризму на основі моделей попиту та пропозиції** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.133 – 137.

Запропоновано та практично апробовано модель взаємозалежності попиту та пропозиції від ціни на основі математичної моделі туристичного регіону.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 621.472

Книш Л.І. **Математичне моделювання енергопереносу в системах прийому тепла комбінованих сонячних енергоустановок** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.138 – 145.

Досліджується енергоперенос в теплоприймачах комбінованих сонячних електростанцій з параболоциліндричними концентраторами. В таких станціях одночасно здійснюється пряме та термодинамічне перетворення енергії Сонця. Математична модель будується на основі класичної системи рівнянь Нав'є – Стокса з нелінійними граничними умовами. Система розв'язана чисельно на основі метода контрольного об'єму. Отримані рівні температур свідчать про можливість використання конструкції теплоприймача з одностороннім охолодженням сонячних елементів.

Бібл.5, іл.3

УДК 533.6:66.096.5:662.61

Дякун І.Л. **Вплив пульсацій газового потоку на стабілізацію процесів горіння в киплячому шарі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (88). - Днепропетровск, 2013. - с.146 – 152.

Розглянуто питання удосконалення технології киплячого шару за допомогою організації пульсуючої подачі повітря (газу) в шар. Запропоновано модель і методику розрахунку раціональних параметрів пульсуючого потоку, руху і горіння вугільної частинки в киплячому шарі, а також емпіричну залежність ефективності процесу газоутворення при вигоранні горючих в шарі, що враховує режимні параметри пульсуючого киплячого шару. Проведено дослідження закономірностей впливу амплітудно-частотних характеристик пульсуючої подачі повітря на повноту вигорання вугільних частинок в шарі. Розроблено конструкції технічних засобів (пульсаторів), в яких реалізується пульсуюча подача повітря в киплячий шар.

Бібл. 9, іл. 5.

UDC 621.78

Sherstiuk D.G. **Assessment of the accuracy of geometrical parameters of large shells in the thermo-mechanical calibration of the analytical calculation of roundness** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.3 - 9.

One of the most important characteristics of rocket and space technology are their reliability and high quality, which is greatly facilitated by high precision and proven technologies of production. These products with high demands on precision are large thin-walled welded construction (shell) of the headquarters of aerodynamic fairing "Cyclone-4".

Based on the analysis of existing methods and requirements calculation showed that one of the key figures during the thermo-mechanical calibration is the transition from local to general elliptic roundness.

Bibl. 12, ill. 1, Tab. 5.

UDK 531.3

Tovt B.M. **Defining the coefficient, which takes into account the friction of crane wheels flanges** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.10 - 15.

In the paper we execute the investigation for the specification of the procedure of defining the coefficient, which takes into account the friction of crane wheels. It is shown that we can separate the component of the wheel flange friction from the general resistance value of the friction in the bogie crane with the analytical approach.

Ref. 4, fig. 1.

UDC 621-83 681.51

Zvorykin V.B. Stanchits G. **Correction of SAC of speed in the presence of flexible connection of the engine with the mechanism and grate coefficients of a ratio of inertial masses** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.16 - 18.

The work dedicates to investigate of a contour of speed in the presence of flexible connection of the engine with the mechanism and a big ratio of inertial masses. Expressions for calculation of the regulator of the speed are received. They allow receiving transition process on the speed of executive mechanism with the reregulation, corresponding to tuning for a modular optimum.

Bibl. 3.

UDC 620.17

Asgarov Kh.A. **The effect of vanadium and niobium carbides forming after heat treatment in construction steel on structural and mechanical properties** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.30 – 35.

Regulation of the temperature-deformation processing mode allows to control the allocation of carbonitrides dispersed phases, which contributes to refinement of ferrite grains and obtaining substructure developed high density of dislocations.

Thus, advances in the field of steels with high mechanical properties allows the construction of steel structures reduce metal. From this viewpoint, the most suitable are maloperlitnye grained steel with additions of niobium and vanadium.

Bibl. 9.

UDC 620.179.14

Khandetsky V.S., Gerasimov V.V. **Effect of window functions on flaw detection signals in composite materials** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.42 – 49.

Investigated the effect of the use of window functions in the spectral transformations in the inspection of composite materials on the visibility of the signals. The use of the Gaussian window function increases the sensitivity of the spectral method to identify short surface cracks on the back of significant noise.

Bibl. 8, ill. 3.

UDC 65.012

Kovalenko I.I., Prikhodko S.B., Pugachenko E.S., Shved A.V. **The graph-dynamic simulation of the composition management tasks of the organizational systems** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.50 – 60.

The new approach to simulation modeling of hierarchical organizational structures on the basis of the procedures of the graph dynamic systems theory, which allows to convert hierarchies for the solving various tasks of optimization is considered.

Ref. 5, pic. 6., tabl. 1

UDC 004.9:336.71

Zamoryonov M.V., Golikov S.E. **Simulation model of the automated banking information system redundant** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.61 – 69.

The article shows the role of operational risk in the overall structure of banking risks. Adaptive software infrastructure of bank automated system described to reduce the information risks. Proposed simulation model of the application server, which is implemented for redundancy replacement. The utilization coefficients of backup server are obtained.

Bibl. 6, fig. 2, tabl. 1

UDC 658.513.012.12

Meshaninov S.K. **Estimation of reliability of functioning of the control - testing electronic systems with the use of task about a maximum of product** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.70 – 74.

The purpose of work consisted of research of possibilities of the use of task about a maximum of product as it applies to an estimation and calculation of reliability of functioning of control-testing electronic systems. The results of analytical researches of estimation of reliability and efficiency of the use of control - testing electronic apparatus are presented as a difficult technical evolving system with the use of task about a maximum of product. Classification is considered of factors, qualificatory efficiency of functioning of electronic apparatus in the different setting. Analytical expressions, allowing to choose an optimal betweenness safe and most effective the modes of exploitation of electronic apparatus, are got.

Bibl. 3.

UDC 510.649

Malaychuk V.P., Ogorenko V.V., Klymenko S.V. **Processing of fuzzy decisions in problems of computer psychometric testing** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.75 – 81.

The technique of the increased informational content for processing of results of psychometric testing as indistinct set of logiko-linguistic solutions answers to questions of

dough is offered and to estimate studied properties of the personality levels of their accessory to the person and degree of his indecision at adoption of indistinct decisions.

Bibl. 1, tabl. 4, ill. 3.

UDC 004.942, 621.744

Selivyorstov V., Selivyorstova T. **Optimizing the design and outer dimensions of the sealing refrigerator using computer modeling technologies** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.82 – 89.

The results of computer simulation of solidification of steel castings in a metal mold using outdoor refrigerator presented. Influence of design features and material for outdoor refrigerator sealing process castings and die from carbon tool steel is defined.

Fig. 6, table 1, bibl. 7.

UDC 669.187.004.18

Yashina K.V., Sadovoy A.V., Zavgorodnij V.V., Yalovaya E.N. **Algorithm of the control electric arc furnace's active capacity** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.90 – 97.

The new algorithm for the management of the arc furnace's active capacity is presented. This algorithm is based on a complex mathematical model of the arc furnace and preparation of material and energy balances of the unit. The suggested here algorithm of management used in the development of arc furnace's management system.

Lit.4, il. 1 tab. 3

UDC 004.8:004.94

Korotka L.I. **Methods formalization of inaccurate forecasting problems corrosive durability of structures** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.98 – 105.

The analysis of ways of formalizing incomplete or inaccurate information about the parameters of external aggressive environment in solving prediction of durability corrosive structures with varying geometric characteristics. To describe the fuzzy data used mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets and interval methods. Considered the suitability of the proposed approaches. Numerical experiments and their results are obtained.

Bibl. 8, il. 2, tabl. 1

UDK 336.764/.768:004

Filonenko V.O. **Use of Fourier analysis for the identification of pulse Elliot Waves** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.106 – 109.

Elliott wave the or yisconsideredasan indicat or of tren dreversal. A new indicator is to confirm the presence of a pulse wave Elliott. This indicator uses a Fourier transformfor selected data and shows harmonic pulse whichis apartof the third wave. The possibility of usingthisindicator is shown for the selected wave.

Bibl. 4, fig. 3.

UDK 622.489:658.012.011

Slesarev V.V., Malienko A.V. **Development of Calculation Techniques for Efficient Mine Transport Network Operating Schedule** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.110 – 116.

Authors developed the calculation technique for efficient operating schedule of the coal mine transport network in the framework of operating control problems. Here authors focus on using guidance data concerning coal transporting volume which is to be distributed within the

transport network of the coal mine. Authors considered a discrete-time functioning transport network. For physical realization of coal transportation appropriate formulas are obtained.

Bibl. 3.

UDC 699-1

Mironova T.M., Donskaya T.R. **Transformation study carbide using electron microscopy** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.117 – 125.

The complex analysis results of white ledeburite cast irons alloyed by vanadium are represented in current work. The implementation of samples special etching techniques allowed the using of scanning electron microscopy for investigation of phase transformation mechanisms in metastable eutectic carbides. During the foils investigation the stages of vanadium alloyed cementite decomposition have been observed

Bibl. 4.

UDK 669.184.1:669.74

Nadtochiy A.A. **Thermodynamic estimation of behavior of manganese in steel with certain content of carbon and under slag of known composition** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.126 – 132.

Thermodynamics estimation of behavior of manganese in steel with different carbon content and under the slag with known composition is resulted. Analyzed the thermodynamic possibility of recover of manganese by a carbon and iron.

Bibl. 10.

UDC 330:519.25

Danilov V., Zhyrova A., Jirov A. **Supply and demand model-based analysis of self-organization in tourism** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.133 – 137.

The model of interdependence of supply and demand from the price based on the mathematical model of tourist region is offered and practically tested by the authors.

Bibl. 4, Il. 4.

UDC 621.311

Knysh L.I. **Mathematic modeling of energy transfer in heat receiver systems of combined solar power plants** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.138 – 145.

Energy transfer in heat receivers of combined solar power stations with cylindrical parabolic concentrator was studied. In such stations realizes simultaneously direct and thermodynamic conversion of solar energy. Mathematic model builds basic on the classical Navier - Stokes equations with nonlinear boundary conditions. The system of equation was solved numerically based on the control volume method. Obtained temperature levels shows the possibility of using receiver of the heat with single-sided cooling of solar cells.

Lib. 5, fig.3

UDC 533.6:66.096.5:662.61

Dyakun I.L. **Influence of air flow pulsations on stabilization of combustion processes in fluidized bed** // System technologies. N 5(88) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.146 – 152.

The problems of enhancement of fluidized bed technology by organization of pulsing air (gas) delivery into the bed are considered. The model and calculation procedure of rational parameters of pulsing flow, movement and combustion of coal particle in the fluidized bed as well as empirical dependence of efficiency of gassing process during combustion of combustibles in the bed are suggested, which take into account the regime parameters of pulsing fluidized bed. The regularities of influence of amplitude-frequency characteristics of pulsing air delivery on completeness of combustion of coal particles in the bed are investigated. The constructions of techniques (pulsators) are elaborated, in which pulsing air delivery into the fluidized bed is realized.

Bibl. 9, ill. 5.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Шерстюк Дмитрий Геннадьевич - аспирант каф. технологии производства, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина.

Кулик Алексей Владимирович – к.т.н., доцент, каф. технологии производства, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина.

Май Александр Михайлович - начальник технологического сектора, ГП ПО "Южмаш" им. А.М. Макарова, Днепропетровск, Украина

Товт Богдан Миколайович - Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, Кафедра теоретичної механіки, доцент.

Бондаренко Леонід Миколайович - ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Кафедра будівельних та дорожніх машин, доцент.

Зворыкин Владимир Борисович - доцент, к.т.н., НМетАУ.

Станчиц Георгий Юрьевич – ст. преподаватель кафедры ИТС, НМетАУ.

Аскеров Х.А. - Бартынский Университет, Турция.

Кадильникова Т.М. - д.т.н., профессор, зав. каф. управления проектами, НМетАУ.

Величко Н.А. - аспирант каф. управления проектами, НМетАУ.

Кулик В.А. - аспирант каф. управления проектами, НМетАУ.

Хандецкий Володимир Сергійович – доктор технічних наук, професор, завідує кафедрою електронних обчислювальних машин ДНУ.

Герасимов Володимир Володимирович – асистент кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Коваленко Ігор Іванович – д.т.н., професор кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна

Приходько Сергій Борисович – д.т.н., завідує кафедрою програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова м. Миколаїв, Україна.

Пугаченко Катерина Сергіївна – аспірант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна.

Швед Олена Володимирівна – викладач кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського державного університету.

Заморёнов Михаил Вадимович - Севастопольский институт банковского дела Университета банковского дела НБУ (г. Киев), доцент кафедры информационных технологий и систем.

Голиков Сергей Евгеньевич - Севастопольский институт банковского дела Университета банковского дела НБУ (г. Киев), заведующий лабораторией

информационно-технического обслуживания учебного процесса кафедры информационных технологий и систем.

Meshaninov S.K. - doctor of sciences, prof., Dneprodzerzhinsk state technical university.

Малайчук Валентин Павлович – д.т.н., профессор, заведующий кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета.

Огоренко Виктория Викторовна – д.мед.н., кафедра психиатрии Днепропетровской медицинской академии.

Клименко Светлана Владимировна – к.т.н., доцент кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета.

Selivyorstov Vadim (Селівьорстов Вадим Юрійович) – д.т.н., професор кафедри ливарного виробництва, НМетАУ.

Selivyorstova Tatyana (Селівьорстова Тетяна Віталіївна) – к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Садовой Александр Валентинович – д.т.н., профессор, проректор по научной работе, зав. кафедрой электротехники и электромеханики Днепродзержинского государственного технического университета.

Яшина Ксения Владимировна – к.т.н., начальник научно-исследовательской части Днепродзержинского государственного технического университета.

Яловая Екатерина Николаевна – к.т.н., доц. кафедры программного обеспечения Днепродзержинского государственного технического университета.

Завгородний Валерий Викторович – к.т.н., доц. кафедры программного обеспечения Днепродзержинского государственного технического университета.

Короткая Лариса Ивановна - и.о. доцента кафедры информационных систем ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет».

Filonenko V.O. – student, National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”.

Слеварев Владимир Викторович - Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», д.т.н., профессор, зав. кафедры системного анализа и управления.

Малиенко Андрей Викторович - Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», ассистент кафедры системного анализа и управления.

Миронова Тетяна Михайлівна - д.т.н., проф.. каф. матеріалознавства ім. Ю.М. Тарана-Жовніра Національної металургійної академії України.

Донська Тетяна Романівна - аспірант каф. матеріалознавства Національної металургійної академії України.

Надточий Анжела Анатольевна - к.т.н, доц. кафедры ТМП и ОХ, НМетАУ.

Данилов Валерій Якович - д.т.н, професор, Інститут прикладного системного аналізу (ІПСА) при Національному технічному університеті України «КПІ».

Жирова Анна Олександрівна - аспірантка Національного технічного університету України «КПІ».

Жиров Олександр Леонідович - к.т.н., доцент Національного технічного університету України «КПІ».

Кныш Людмила Ивановна – д.т.н., доцент, профессор кафедры аэрогидромеханики и энергомассопереноса Днепропетровского национального университета им.Олеся Гончара.

Дякун Інна Леонидовна - младший научный сотрудник отдела проблем шахтных энергетических комплексов Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Дякун Інна Леонідівна - молодший науковий співробітник відділу проблем шахтних енергетичних комплексів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.