

СТАРООСКОЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. А.А. УГАРОВА



XI

**ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**«Современные проблемы горно-металлургического комплекса.
Наука и производство»**

I ТОМ

**3–5 декабря 2014 г.
г. Старый Оскол**

Министерство образования и науки Российской Федерации
Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова
(филиал) федерального государственного автономного образовательного
учреждения
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

**Современные проблемы
горно-металлургического комплекса.
Наука и производство**

Материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической
конференции, с международным участием

3-5 декабря 2014г.

г.Старый Оскол

Старый Оскол

2014

УДК 622: 669
ББК 33: 34.3
С 568

Редакционная коллегия:

Подгородецкий Геннадий Станиславович – заведующий кафедрой экстракции и рециклинга черных металлов НИТУ «МИСиС», директор научно-образовательного центра «Инновационные металлургические технологии», член редколлегии журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия», к. т. н.

Еременко Юрий Иванович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСиС», д.т.н., профессор.

Ильичева Елена Вячеславовна – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСиС», д.э.н., профессор.

Крафт Людмила Николаевна – заведующий кафедрой химии СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., профессор.

Кожухов Алексей Александрович – заведующий кафедрой металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н.

Макаров Алексей Владимирович – заведующий кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н.

Вертакова Юлия Владимировна – заведующий кафедрой региональной экономики и менеджмента ФГБОУ ВПО «Юго-западный государственный университет», д.э.н., профессор.

Рецензенты:

Подгородецкий Геннадий Станиславович – заведующий кафедрой экстракции и рециклинга черных металлов НИТУ «МИСиС», директор научно-образовательного центра «Инновационные металлургические технологии», член редколлегии журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия», к. т. н.

Еременко Юрий Иванович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСиС», д.т.н., профессор.

Ильичева Елена Вячеславовна – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСиС», д.э.н., профессор.

Крафт Людмила Николаевна – заведующий кафедрой химии СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., профессор.

Кожухов Алексей Александрович – заведующий кафедрой металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н.

Макаров Алексей Владимирович – заведующий кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н.

Вертакова Юлия Владимировна – заведующий кафедрой региональной экономики и менеджмента ФГБОУ ВПО «Юго-западный государственный университет», д.э.н., профессор.

С568 Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 3-5 декабря 2014г. / редколлегия: Г.С. Подгородецкий, Ю.И. Еременко, Е.В. Ильичева, Л.Н. Крафт, А.А. Кожухов, А.В. Макаров, Ю.В. Вертакова – Старый Оскол, 2014. - 380с.

Сборник материалов Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство», с международным участием, посвящен 35- летию СТИ НИТУ «МИСиС».

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 622: 669
ББК 33: 34.3

СЕКЦИЯ: ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.746.27

РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ РАСКИСЛЕНИЯ ЭЛИНВАРНЫХ СПЛАВОВ

С.Н. Падерин¹ (с.н.с.), **В.Т. Бурцев**² (в.н.с.), **С.Н. Анучкин**² (н.с.),

А.А. Сисёв¹ (главный инженер), **В.А. Калицев**³ (г.н.с.),

А.И. Щербаков³ (с.н.с.), **А.Н. Мосолов**³ (н.с.)

¹ОАО «Металлургический завод «Электросталь»

²ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

³ФГУП ГНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов

E-mail: burtsev@ultra.imet.ac.ru

***Аннотация.** Предложен оригинальный метод расчета термодинамических моделей для жидких металлических растворов многокомпонентных систем на основе железа и никеля, а также элинварного сплава. Рассчитали активности и содержания кислорода в элинварном сплаве и определили раскислительную способность алюминия, церия и лантана с использованием уравнений моделей регулярного и псевдoreгулярного растворов. При плавке базового модельного элинварного сплава определили содержания кислорода и азота методом газового анализа, исследовали $a_{[O]}$ методом ЭДС, металлографически и с помощью СЭМ изучили морфологию и состав неметаллических включений и показали преимущества введения Al, а далее Ti в расплав на снижения $a_{[O]}$ и образование неметаллических включений, содержащих преимущественно Ti и O₂, N и S, размером 5-10 мкм.*

***Ключевые слова:** термодинамические модели, жидкие многокомпонентные металлические растворы на основе железа и никеля, элинварный сплав, активность кислорода, метод ЭДС, неметаллические включения.*

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC BASES DEOXIDATION ELINVARNYH ALLOYS

S.N. Paderin¹ (senior researcher), **V.T. Burtsev**² (advanced researcher),

S.N. Anuchkin² (researcher), **A.A. Sisev**¹³ (chief engineer), **V.A. Kalitsev**³ (chief researcher), **A.I.**

Scherbakov³ (senior researcher), **A.N. Mosolov**³ (researcher)

¹OAO Metallurgicheskii Zavod «Elektrostal», Elektrostal

²Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science (IMET RAS), Moscow

³All-Russia Research Institute of Aviation Materials, Moscow

Abstract: Proposed original method for calculating the thermodynamic models for liquid metal solutions of multicomponent systems based on iron and nickel, as well as elinvarny alloy. Calculate activity and the oxygen content of the alloy and identified elinvarny scavenging ability of aluminum, cerium and lanthanum using equations and models regular and pseudoregular solutions. When melting the base model elinvarny alloy to determine the content of oxygen and nitrogen gas analysis methods were examined $a_{[O]}$ by EMF, metalografy and SEM have studied the morphology and composition of non-metallic inclusions and showed the benefits of the introduction of Al, Ti and further into the melt to reduce the $a_{[O]}$ and formation of nonmetallic inclusions, comprising predominantly Ti and O_2 , N and S, the size of 5-10 microns.

Keywords: thermodynamic model, liquid multicomponent metallic solutions based on iron and nickel, elinvarny alloy, active oxygen, method EMF, nonmetallic inclusions.

Изделия, изготовленные из существующих элинварных сплавов для датчиков абсолютного давления, недостаточно полно удовлетворяют требованиям техники сверхвысокого вакуума из-за повышенной загрязненности металла неметаллическими включениями оксидного и нитридного типов. Существующие литературные данные, в частности, по раскислению железоникелевых сплавов для систем Fe-Ni-Co-W-(C,Ti,Al)-O не позволяют корректно определить термодинамические параметры процессов раскисления. Поэтому были разработаны оригинальные методы расчета термодинамических моделей и уравнений для жидких металлических растворов многокомпонентных систем, содержащих кислород, в том числе и типа элинварных сплавов.

Теоретическая часть, термодинамические расчёты. При изучении термодинамики растворов кислорода в жидких металлах Ni, Co, Fe и Mn установлены прямолинейные зависимости функций растворимости кислорода ($RT \ln x_{O_{max}}$) от стандартных энергий Гиббса (ΔG_{MeO}^0) реакций окисления этих металлов [1]. Показано, что растворимость кислорода в жидком металле зависит только от сродства жидкого металла к кислороду. Экстраполяция полученных зависимостей на другие металлы позволила прогнозировать растворимости кислорода в жидких металлах и рассчитать энергии смешения металла с кислородом Q_{Me-O} , табл.1. Коэффициенты активности кислорода γ_O в многокомпонентных металлических растворах рассчитывают по уравнению:

$$RT \ln \gamma_O = \sum x_i Q_{Me-O} - \sum \sum x_i x_j Q_{ij} \approx \sum x_i Q_{Me-O} \quad (1)$$

Таблица 1. Термодинамические параметры реакций взаимодействия жидких металлов Fe, Co, Ni, W с кислородом в зависимости от температуры и при T=1873 K

Реакция	$\Delta G_i^0 = f(T)$, Дж/моль	$\Delta G_{i,1873}^0$, кДж/ моль	K_i	$Q_{Me-O} = \varphi(T)$	$Q_{Me-O, 1873}$, кДж/ моль
$Ni_{(ж)} + \frac{1}{2}O_2 = NiO_{(ж)}$	– 210 350 + 75,7 7·T	– 68,43	81	– 79 246 + 34,25· T	– 13,73
$Co_{(ж)} + \frac{1}{2}O_2 = CoO_{(ж)}$	– 253 340 + 81,8 0·T	– 100,1 3	62 0	– 60 715 + 11,45· T	– 38,80
$Fe_{(ж)} + \frac{1}{2}O_2 = FeO_{(ж)}$	– 239 825 + 49,5 4·T	– 147,0 4	12 61 0	– 106250 + 17,83 ·T	– 72,13
$W_{(ж)} + \frac{1}{2}O_2 = \frac{1}{2}WO_{2(ж)}$	– 248 720 + 77,7 0·T	– 103,1 9	75 5	– 83910 + 22,93· T	– 40,04

Равновесную со всеми компонентами металла и шлага активность кислорода предложено рассчитывать по уравнению:

$$a_o = \frac{\sum a_{MeO}}{\sum K_i \cdot a_i} = \frac{1}{\sum K_i \cdot X_i} \quad (2)$$

За стандартное состояние растворённого в жидком металле кислорода удобно принять чистый газообразный кислород под давлением $P_{O_2}^{1/2} = 1$ [1]. Концентрация (мольная доля) кислорода будет равна: $x_o = a_o / \gamma_o$

Разработан новый метод термодинамических расчетов активности и концентрации кислорода в многокомпонентных металлических растворах с использованием уравнений моделей регулярного и псевдoreгулярного растворов. Ниже приведены расчеты активностей и концентраций кислорода в жидких многокомпонентных металлических растворах применительно к элинварному сплаву 37НКВТЮ до и после раскисления.

Расчеты содержания кислорода в элинварном сплаве 37НКВТЮ. Состав сплава до введения раскислителей:

	Ni	Co	Fe	W	
%	37,2	15,3	40,2	7,34	
x_i	0,389	0,157	0,436	0,024	$\Sigma x_i = 1,000$

Подстановка величин K_i и X_i в уравнение (2) позволяет получить активность кислорода в нераскисленном расплаве Ni-Co-Fe-W: $a_o = 1,74 \cdot 10^{-4}$.

Подстановка величин x_i и Q_{Me-O} в уравнение (1) позволила оценить коэффициент активности кислорода $\gamma_o = 0,0567$. Концентрация (мольная доля) кислорода в нераскисленном расплаве

равна: $x_o = \frac{a_o}{\gamma_o} = 3,07 \cdot 10^{-3}$

Пересчет мольной доли x_O на массовую долю [%O] при средней атомной массе металла

$$\bar{A} = \sum x_i \cdot A_i = 60,50 \text{ соответствует величине } [O] = 0,081 \text{ \%}.$$

Ниже представлены расчеты активности и концентрации кислорода после раскисления металла каждым раскислителем: Al, Ti, Ce, La (см. табл.2).

Таблица 2. Состав эливарного сплава 37НКВТЮ после раскисления.

	Ni	Co	Fe	W	Ti	Al	C	La	Ce	O
%	37	15, 2	37, 08	7,3 5	2,8	0,5 5	0,0 10	0,00 13	0,00 40	0,00 25
x_i	0,3 78	0,1 55	0,3 98	0,0 24	0,0 323	0,0 122	5·1 0 ⁻⁴	6,0· 10 ⁻⁶	1,7· 10 ⁻⁵	9,36· 10 ⁻⁵

Результаты расчётов эливарного сплава приведены в таблице 3. Равновесная активность кислорода с церием выше, чем с алюминием. Равновесная активность кислорода с лантаном практически такая же, как с алюминием. Следует заметить, что расчеты раскисления церием и лантаном сделаны по их мольным долям, а не по активностям, так как в литературе нет данных по γ_{Ce}^∞ и γ_{La}^∞ в жидких металлах.

Таблица 3. Расчетные значения эливарного сплава

Реакция	ΔG_{1873}^0 , кДж/моль	k_i	x_R	γ_R	a_R	a_O
$\frac{2}{3} Al_{(ж)} + \underline{O} = \frac{1}{3} Al_2O_{3(m)}$	-356,64	$1,07 \cdot 10^{10}$	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$4,30 \cdot 10^{-3}$	$5,24 \cdot 10^{-5}$	$6,66 \cdot 10^{-8}$
$\frac{1}{2} Ti_{(ж)} + \underline{O} = \frac{1}{2} TiO_{2(m)}$	-305,46	$3,30 \cdot 10^8$	$3,23 \cdot 10^{-2}$	$3,56 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$2,80 \cdot 10^{-7}$
$\frac{1}{2} Ce_{(ж)} + \underline{O} = \frac{1}{2} CeO_{2(m)}$	-335,16	$2,23 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	-	-	$1,09 \cdot 10^{-7}$
$\frac{2}{3} La_{(ж)} + \underline{O} = \frac{1}{3} La_2O_{3(m)}$	-419,60	$5,04 \cdot 10^{11}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	-	-	$6,0 \cdot 10^{-8}$

Коэффициент активности кислорода оценили по уравнению (1) с использованием энергий смешения металлов с кислородом и мольных долей компонентов:

	Ni	C o	Fe	W	Ti	Al	La	Ce
Q_{Me-O} , кДж/моль	- 13	- 38	- 72,1	- 40,0	-183	- 244	-288	-223

	,7	,8		4				
x_{Me}	0, 37 8	0, 15 5	0,39 8	0,02 4	0,03 23	0,0 122	$6 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
$x_i Q_{Me-O}$, кДж	- 5, 20	- 6, 01	- 28,7 0	- 0,96	- 5,91	- 2,9 8	- 0,00 2	- 0,004

Произведения $x_i Q_{Me-O}$ показывают вклад компонентов раствора в избыточный химический потенциал кислорода:

$$RT \ln \gamma_O \approx \sum x_i Q_{Me-O} = -319224 \text{ Дж/моль}; \quad \gamma_O = \exp\left(\frac{-319224}{8,314 \cdot 1873}\right) = 0,0411.$$

Тогда $x_O = a_O / \gamma_O = 6,66 \cdot 10^{-8} / 4,11 \cdot 10^{-2} = 1,62 \cdot 10^{-6}$.

Пересчет мольной доли кислорода x_O на массовую долю [%O] при средней атомной массе металла $\bar{A} = 59,84$ соответствует величине [O] = $4,34 \cdot 10^{-5}$ %.

Сравнение расчетных равновесных концентраций кислорода в металле до раскисления ([O] = $8,10 \cdot 10^{-2}$ %) и после раскисления ([O] = $4,34 \cdot 10^{-5}$ %) показывает, что концентрация кислорода уменьшилась более, чем на три порядка.

Расчетная равновесная концентрация кислорода в металле после раскисления почти на два порядка ниже результата анализа кислорода в готовом металле: Расчетные равновесные величины - [O], % = $4,34 \cdot 10^{-5}$, $x_O = 1,62 \cdot 10^{-6}$; Анализ кислорода в готовом металле - [O], % = $2,5 \cdot 10^{-3}$, $x_O = 9,36 \cdot 10^{-5}$;

Экспериментальная часть. Базовый модельный сплав (БМС) состава (% масс): Fe (осн)-Ni(37)-Co(15,2)-Ti(2,8)-W(7,3) плавил в вакуумной печи сопротивления с графитовым нагревателем с использованием вакуума до $1,3 \cdot 10^{-6}$ МПа ($1 \cdot 10^{-2}$ мм.рт.ст.), атмосферы Ar марки ВЧ ($P_{[Ar]} = 0,1$ МПа) и смеси He+H₂ (10% объем) ($P_{[He+H_2]} = 0,1$ МПа) и с замером температуры металла Pt-PtRh-термопарой. Плавки провели по двум вариантам легирования металла Ti и Al: по первому при изотермической выдержке вводили Ti, а потом Al, по второму наоборот, и однотипного раскисления металла в конце плавки Ce и La, что принципиально важно для изучения процесса легирования, раскисления и образования неметаллических включений. В первой серии плавов (№ 1,2) исследовали кинетику удаления кислорода и азота из БМС методом отбора проб кварцевой трубкой и закалкой на воздухе с фиксацией введения компонентов легирования и раскислителей, состава газовой фазы, температуры и времени операций. В пробах определяли содержания кислорода и азота методом восстановительного плавления на установке фирмы "LECO" TC-600 с

чувствительностью определения 0,0001 % мас. Поверхность образцов контролировали лупой с 4^x кратным увеличением. Содержания газов представлено в таблице 3.

Таблица 3. Содержания газов в БМС (10⁻⁴ % мас.) двух вариантов легирования и раскисления (числитель данные лаб.А и знаменатель лаб.Б) и время отбора проб.

Номер плавки (вариант раскисления) - номер пробы / раскислители – легирующие	[O]	[N]	Время, мин [*]
1-1-1; Ca	21/37 [*]	9/3 [*]	6
1-1-2; Ti	17/19	9/12	8
1-1-3; Al	16/14	7/3	6
1-1-4; Ca, Ti, Al, Ce, La^{2*}	40/10	9/5	11
2-2-1; Ca	18/20	9/12	6
2-2-2; Al	5/26	6/4	8
2-2-3; Ti	5/17	3/3	6
2-2-4; Ca, Al, Ti, Ce, La	10/19	6/6	11
3-1-4; Ca, Ti, Al	34/41	7/10	20
4-2-4 ;Ca, Al, Ti	44/49	22/14	20

Примечание: ^{*} время отбора проб начиналось по достижении изотермической температуры, ^{2*} - полужирным шрифтом обозначены результаты анализа в слитке

Результаты первой серии плавки (№ 1, 2) подтверждают выводы первой части работы о наименьшей активности кислорода в металле после введения Al и далее Ti, но разница в значениях содержаний кислорода, полученных в лаб.А и лаб. Б, объясняемая различным качеством подготовки поверхности образцов, не позволяет корректно оценить $a_{[O]}$ в сложнелегированном расплаве с высоким содержанием Al. Поведение азота подтверждает эти выводы и требует дальнейших исследований. Во второй серии плавки (№3,а-б и 4,а-б) определяли как содержание газов в слитке металла (см. табл.3) ,так и $a_{[O]}$ в модельном сплаве Ni-Al-Ti и в БМС при 1500 °С и при $P_{Ar}=0,1$ МПа по двум вариантам легирования металла Ti и Al (см. выше) и раскисления кальцием с помощью погружного одноразового датчика с неразделенным газовым пространством с твердым электролитом ZrO₂ (0,06 MgO) с электродом сравнения Cr-Cr₂O₃ “Celox II Standart” с выводом из Mo и покрытым снаружи теплоизолирующим слоем из Al₂O₃. Использовали сертифицированные датчики производство фирмы “Heraeus Electro-Nite” (B-3530 Houthalen, Belgium). Подробно устройство датчиков и

их использование представлено в [2]. Сигналы датчика во времени преобразовывали аналого-цифровым устройством, ПК с ПП “Экохром” и визуально фиксировали на мониторе равновесные значения ЭДС с последующим расчетом $a_{[O]} = 1/2 P_{O_2}$ (см. выше) по уравнению Нернста. Расчеты $a_{[O]}$ при температуре 1773K приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчета $a_{[O]}$ в модельном сплаве Ni-Al-Ti и БМС при 1500 °С

Плавка	Файл	Металл	ЭДС, v	$a_{[O]}$	T, сек ^{2*}
3а	Ch32	Ni*	-0,1455	$1,348 \cdot 10^{-4}$	6
3а	Ch33	Ni+2,6Ti	+0,047	$9,371 \cdot 10^{-6}$	11
3а	Ch34	Ni+2,6Ti+0,5Al	+0,044	$9,818 \cdot 10^{-6}$	7
3б	Ch35	Ni	-0,1450	$1,339 \cdot 10^{-4}$	1,2
3б	Ch36	Ni+0,5Al	+0,066	$7,068 \cdot 10^{-6}$	7
3б	Ch37	Ni+0,5Al+2,6Ti	+0,083	$5,484 \cdot 10^{-6}$	8,2
4а	Ch38	БМС ^{3*} +Ca	+0,0805	$5,671 \cdot 10^{-6}$	2
4а	Ch39	БМС + Ca+2,6Ti	+0,0320	$1,178 \cdot 10^{-5}$	4
4а	Ch40	БМС+Ca+2,6Ti +0,5Al	+0,1086	$3,653 \cdot 10^{-6}$	15,5
4б	Ch41	БМС+Ca	+0,0889	$4,983 \cdot 10^{-6}$	0,5
4б	Ch42	БМС +Ca+0,5Al	+0,1350	$2,364 \cdot 10^{-6}$	9
4б	Ch43	БМС+Ca+0,5Al +2,6Ti	+0,1352	$2,364 \cdot 10^{-6}$	8

Примечание: * Ni электролитный, раскисленный при плавке $P_{He+1\%H_2}$;
^{2*} время фиксации равновесной ЭДС;
^{3*} базовый модельный сплав (везде % масс, см. выше).

Из анализа табличных данных следует, что 1) использованная методика определения $a_{[O]}$ позволяет получать воспроизводимые результаты как по Ni (см. данные по Ni) ,так и при введении в металл легирующих элементов (Ti, Al) и раскислителей; 2) значения $a_{[O]}$ в расплавах Ni-Al-Ti имеют минимальные значения при введении Al, а далее Ti; 3) значения $a_{[O]}$ в БМС имеют также минимальные значения при введении Al, а далее Ti несмотря на наличие в расплаве 0,02% Ca; 4) полученные значения $a_{[O]}$ определяют количество, размер и морфологию неметаллических включений. При металлографическом исследовании шлифов слитков металла первой серии плавков (№1 и 2, см. табл. 3) при увеличении 100 по 4 полям показали, что по обоим вариантам легирования и раскисления зафиксировано существование 2 типов неметаллических включений (НВ): мелких неправильной треугольной или трапециодальной формы НВ и глобулярных НВ; при х200 по 4 полям

показали, что НВ неправильной треугольной или трапециодальной формы имеют гетерофазное строение, а НВ глобулярной формы – гомогенное; при x500 по 4 полям показали, как и ранее, что НВ неправильной треугольной или трапециодальной формы имеют гетерофазное строение, а НВ глобулярной формы - гомогенное.

Таблица 5. Результаты анализа НВ металла плавов №3,4, полученных на СЭМ

Плавка №3а (ат. %)				Плавка №3б (ат. %)			
Включение 1		Включение 2		Включение 1		Включение 2	
Матрица	Включение	Матрица	Центр включения	Матрица	Включение	Матрица	Включение
Al-0,7	N-5,3	Al-0,7	S-12,0	Al-0,8	C-12,0	Al-0,6	N-11,4
Ti-2,9	O-5,5	Ti-4,0	Ti-38,0	Ti-7,7	Ti-58,0	Ti-2,0	Ti-26,7
Fe-36,7	Ti-58,2	Fe-35,4	Fe-15,6	Fe-29,1	Fe-3,0	Fe-37,5	Fe-26,7
Co-13,8	Fe-11,3	Co-14,3	Co-6,4	Co-14,5	Co-1,2	Co-14,5	Co-9,1
Ni-38,0	Co-3,8	Ni-40,2	Ni-20,8	Ni-47,8	Ni-3,3	Ni-37,4	Ni-21,7
W-7,9	Ni-9,6	W-5,3	W-3,9		W-19,4	W-7,9	W-4,4
	W-6,3						
Плавка №4а (ат. %)				Плавка №4б (ат. %)			
Включение 1		Включение 2		Включение 1		Включение 2	
Матрица	Центр Включения	Матрица	Центр включения	Матрица	Край включения	Матрица	Центр включения
Al-0,7	S-12,2	Al-0,7	O-23,4	Al-0,7	N-18,0	Al-1,0	O-10,3
Ti-5,0	Ti-25,6	Ti-1,8	Al-7,2	Ti-1,8	Ti-62,0	Ti-2,6	Al-6,0
Fe-35,2	Fe-17,1	Fe-39,1	S-2,5	Fe-39,1	Fe-5,9	Fe-36,7	Ti-3,1
Co-14,1	Co-8,0	Co-14,8	Ca-1,8	Co-14,8	Co-2,0	Co-14,3	Fe-35,0
Ni-40,5	Ni-26,2	Ni-36,7	Fe-1,5	Ni-36,7	Ni-5,3	Ni-36,9	Co-13,8
W-4,6	W-3,9	W-9,4	Co-0,9	W-9,4	W-1,3	W-6,8	Ni-36,1
			Ni-1,2				W-6,1

При исследовании металлографических шлифов слитков второй серии плавов (№3а,б; 4а,б; см табл.4) методом СЭМ изучили составы двух НВ каждой плавки, соответственно. В табл. 5 представлены эти результаты. Для плавки № 3а характерно обогащение НВ титаном ($Ti_{НВ}/Ti_{мат} = 20-9,5$) при наличии в них {O=5,5; N=5,3; S=12 % атом}; для плавки №3б – ($Ti_{НВ}/Ti_{мат} = 13-7,7$) при наличии в них {C=12; N=11% атом). Отметим, что двукратное уменьшение содержания Ti во втором случае свидетельствует о влиянии Al на образование НВ типа TiN или TiC. Для плавки № 4а характерно незначительное обогащение НВ титаном ($Ti_{НВ}/Ti_{мат} = 5$) при наличии в них {O=23; S=12; Al=7; Ca=1,8 % атом}; для плавки №4б –

($Ti_{NB}/Ti_{mat}=34$) при наличии в них {O=10; N=18; Al=6% атом). Отметим, что шестикратное увеличение содержания Ti во втором случае свидетельствует о недостаточном влиянии Al на образование NB типа TiN. Отметим, что при анализе NB методом СЭМ изучали, как правило NB, которые имеют неправильную треугольную или трапециодальную формы и которые имеют гетерофазное строение (см. выше), что свидетельствует о ступенчатом характере образования NB с тугоплавким ядром в центре преимущественно с образованием оксида алюминия или нитрида титана с участием матричного металла.

Выводы. Разработали метод расчета термодинамических моделей для жидких металлических растворов многокомпонентных систем на основе железа и никеля, а также элинварного сплава. С его помощью рассчитали активности и содержания кислорода в элинварном сплаве и показали, что минимальная $a_{[O]}$ определяется раскислительной способностью алюминия с использованием уравнений моделей регулярного и псевдoreгулярного растворов.

Экспериментально при плавке модельного элинварного сплава определили содержания кислорода и азота методом газового анализа, а также исследовали $a_{[O]}$ методом ЭДС и показали, что минимальная $a_{[O]}$ зафиксирована при введении в расплав Al, а далее Ti. Металлографически и с помощью СЭМ изучили морфологию и состав неметаллических включений и показали преимущества введения Al, а далее Ti в расплав на образование неметаллических включений, содержащих преимущественно Ti и O₂, N и S, размером 5-10 мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – ГРАНТ 13-03-00073-а

Список литературы

1. Шильников Е.В., Падерин С.Н. Термодинамика растворов кислорода в жидких металлах: Ni, Co, Fe и Mn // Электromеталлургия. 2013. №6. с. 3-8
2. Maes R. Применение зондов Celox в сталеплавильном производстве. N.Y.: Heraeus Electro-Nite Int. 2000. 45 p.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ХРОМА В РУДО-УГОЛЬНЫХ БРИКЕТАХ

А.С. Бильгенов, магистрант (ketenec@gmail.com),

А.Е. Шотанов, аспирант (shotanov.ae@mail.u),

В.Е. Рошин, профессор (roshchinve@susu.ac.ru).

Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет),

Россия, 454080 Челябинск, проспект Ленина, 76. Тел.: (351)2679161.

***Аннотация:** Рассмотрена возможность твердофазного карботермического восстановления хрома в рудо-угольных брикетах. Изложены методы и результаты экспериментов.*

***Ключевые слова:** предварительная металлизация, рудо-угольные брикеты.*

PRE-METALLIZATION CHROMIUM IN ORE-COAL BRIQUETTES

A.S. Bilgenov (master's degree student ketenec@gmail.com), **A.E. Shotanov** (postgraduate student shotanov.ae@mail.u), **V.E. Roshchin** (professor roshchinve@susu.ac.ru).

South Ural State University (national research university) 76, Lenin prospekt, Chelyabinsk, Russia
454080. Phone:(351)2679161.

***Abstract:** The possibility of solid-phase carbothermic reduction of chromium in the ore-coal briquettes. Methodology and results of experiments are outlined.*

***Keywords:** pre-metallization, ore-coal briquettes.*

Введение. Наряду с технологиями предвосстановления железа в мире интенсивно изучается возможность применения данного подхода к металлизации других, в частности, хромовых руд. Анализ тенденций развития ферросплавной отрасли последнего десятилетия показывает, что мировые производители феррохрома всё чаще переходят на технологию выплавки феррохрома с предварительным подогревом или восстановлением хромового сырья. Технология предвосстановления хромового сырья при выплавке высокоуглеродистого феррохрома позволяет уменьшить удельный расход электроэнергии, сократить время плавки и, тем самым, увеличить производительность плавильной печи [1,2].

В этой связи целесообразно оценить возможность предвосстановления железа и хрома из хромового сырья Кемпирсайского месторождения Республики Казахстан.

Целью работы является оценка влияния связки и окислительного потенциала газовой фазы на степень твердофазного углеродотермического восстановления.

Методика проведения экспериментов. Рудо-угольные брикеты (брэкссы) изготавливали на гидравлическом прессе с использованием бентонита в качестве связующего или без связки. Концентрат хромовой руды и шубаркольский или карагандинский уголь предварительно измельчали на шаровой мельнице. Измельчение угля и руды производили до получения более 80% фракции <0,071 мм. Полученные таким образом брикеты сушили, при температуре 105°C. Химический состав исходных материалов приведен в табл. 1.

Таблица 1.- Химический состав исходных материалов

Материал	Содержание компонентов, мас. %							
	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Mg O	P ₂ O ₅	S
Концентрат	53,6	5,5	7,5	13	0,2	18, 9	0,00 7	0,0 2
Зола угля (караганд инского)	-	63,6	28,6	3,8	0,4	0,6	0,04 2	-
Бентонит	-	62,2	15,5	2,6	0,75	2,4 2	-	-

Технические составы угля:

- а) шубаркольского месторождения – A = 2,6%, V = 46,6%, S = 0,25%, W = 5,91%, P = 0,006%
 б) карагандинского месторождения – A = 44%, V = 22,2%, S = 0,44%, W = 2,24%, где A – зольность, V – выход летучих, S – сера, W – влажность.

Карагандинский уголь использовали в стехиометрически необходимом количестве, а шубаркольский – с 20%-ым избытком ($K_{изб.}=1,2$). Обжиг брикетов проводили в печи Таммана. Брикет помещали в графитовый тигель и закрывали графитовой крышкой с отверстием, предназначенным для прохождения термопары. Конец термопары устанавливали на уровне середины высоты цилиндрического брикета. Тигель с образцом опускали в камеру печи, предварительно разогретой до такой температуры, чтобы нагреть брикет до температуры 1300°C в тигле за две минуты от момента загрузки тигля. При температуре 1300°C образец выдерживали в течении 15 минут. Далее за две минуты температуру обжига повышали до 1450°C и выдерживали при этой температуре 15 минут. Обжиг проводили в проточной атмосфере смеси угарного и углекислого газов при их различным соотношении. После этого тигель с образцом охлаждали на воздухе.

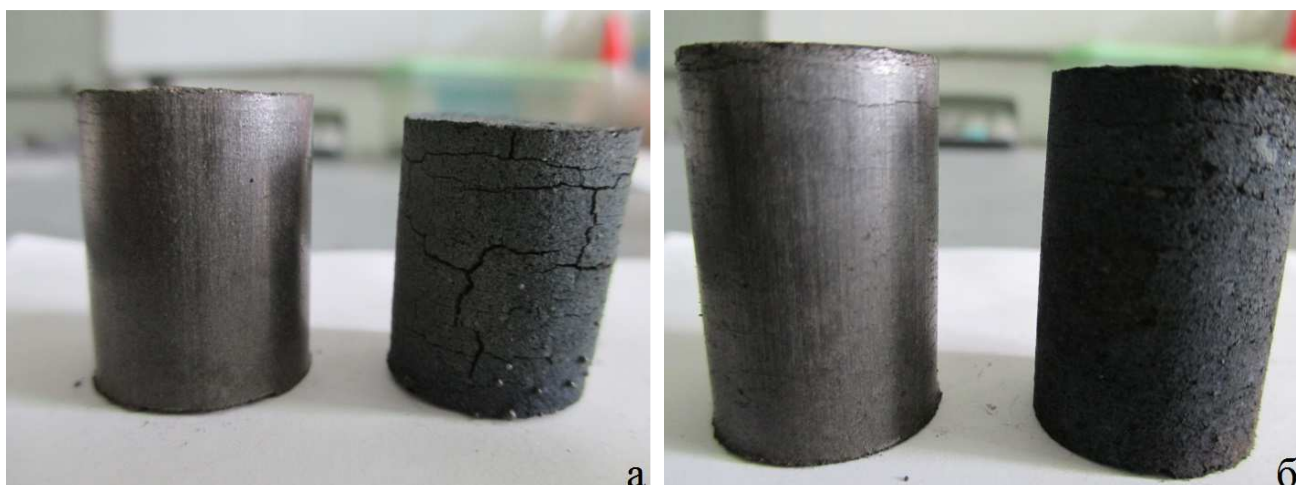


Рисунок. Рудо-угольные брикеты до и после обжига: а – с карагандинским, б – с шубаркольским углём

Результаты экспериментов. Фотографии брикетов до и после обжига представлены на рис. Результаты химического анализа брикетов после обжига приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2.-Результаты восстановительного обжига брикетов с карагандинским углём

Содержание компонентов, мас. %			Степень восст., %	Среднее
Cr _{мет}	Cr ₂ O _{Зобщ.}	С		
26,70	46,66	4,85	83,63	82,48
26,60	47,27	4,85	82,24	
26,30	47,12	5,08	81,58	

Из приведённых результатов анализа экспериментов следует, что в результате обжига брикетов с карагандинским и шубаркольским углём без связующего материала в застойной атмосфере при температуре 1450°С достигнута степень металлизации хрома (76...82%), в то время как в предвосстановленных брикетах с использованием шубаркольского угля, при продувке смесью угарного и углекислого газа, и с использованием связки составила (54 ...58%).

Таблица 3.-Результаты восстановительного обжига брикетов с шубаркольским углём

Газовая атмосфера CO/CO ₂	Данные о брикетах	Химический состав, масс. %			Степень восст., %	Сред нее
		Количество связки, %	Cr _{мет.}	Cr ₂ O _{Зобщ.}		
Застойная	-		28,60	54,80	10,28	76,28
			29,20	55,10	10,24	77,45

		28,20	54,49	10,29	75,64	
1,53	-	26,90	57,87	7,50	67,94	65,67
		24,00	55,33	6,95	63,40	
Застойная	6	25,30	50,79	12,28	72,80	72,54
		25,30	50,95	12,42	72,57	
		25,30	51,18	12,38	72,25	
17,18	6	19,60	51,34	8,38	55,80	57,97
		20,60	50,87	8,37	59,19	
		20,70	51,34	8,23	58,93	
5,06	6	20,30	51,40	8,07	57,72	55,32
		18,73	50,71	8,17	53,98	
		19,20	51,73	7,34	54,25	
1,53	6	18,90	51,50	7,32	53,64	54,86
		20,20	51,30	8,27	57,55	
		18,70	51,18	7,78	53,40	

Выводы:

Температура 1450 °С достаточна для предвосстановления хрома из рудо-угольных брикетов, при этом за время выдержки 15 мин может быть достигнута степень металлизации хрома не менее 54 %.

Наличие в объеме печи слабоокисленной атмосферы ведёт к снижению степени восстановления.

Наличие в составе шихты связки снижает степень восстановления хрома.

Список литературы

1. Cullough S., Hockaday S., Johnson C., Barcza N.A. Pre-Reduction and Smelting Characteristics of Kazakhstan Ore Samples// The Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future. Helsinki, Finland. 2010. – 249-262 pp.
2. Шотанов А.Е., Коспанов М.М., Роцин А.В. Влияние состава связующих хромоугольных брикетов на твердофазное восстановление металлов / Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XV международной конференции: в 2 ч. / под ред. В.Е. Роцина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. –Ч. 2. –239 с.

УДК 622.648.23

**ПУЛЬСАЦИОННОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ
В СИСТЕМЕ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

В.И. Александров, д.т.н., проф., e-mail: alexvict@spmi.ru,

М.А. Васильева, канд. тех. наук, ассистент, e-mail: saturn.sun@mail.ru

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» 199106, Санкт-Петербург, 21-
линия, 2, Россия. тел.:8(812)-321-82-20

***Аннотация:** Для снижения энергопотребления гидротранспортных систем, обусловленного высокой удельной энергоёмкостью процесса, прогрессивным направлением развития является транспортирование концентрированных мелкодисперсных гидросмесей (КМГ). Образование структур концентрированных дисперсных гидросмесей происходит в результате того, что силы сцепления частиц друг с другом становится соизмеримыми с весом частиц. В таких системах межфазная поверхность (поверхность раздела частица - жидкая среда), отнесённая к единице объёма или массы системы становится намного больше, чем у отдельной частицы. Но по мере увеличения дисперсности и концентрации твёрдой фазы резко возрастает вязкость и прочность пространственных структур, самопроизвольно возникающих в дисперсных системах.*

***Ключевые слова:** гидротранспорт, энергопотребление, пульпопровод, гидросмеси, диффузия.*

**PULSATING MOTION OF THE SOLID PHASE TURBULENT FLOW IN THE PIPELINE
TRANSPORTATION SYSTEM**

V.I. Alexandrov D.Sc., prof. (e-mail: alexvict@spmi.ru),

M.A. Vasil'eva, PhD, assist. (e-mail: saturn.sun@mail.ru)

National mineral-resource University " University of Mines" 199106, SPb, 21-line, 2, RU, phone:
8(812)-321-82-20

***Abstract:** To reduce the energy consumption of hydro-systems due to the high specific energy content of the process, the progressive direction of development is transporting concentrated fine mixtures (EP). The formation of structures concentrated-dispersed slurries bathrooms occurs as a result of what traction particles with each other becomes commensurate with the weight of the particles. In such systems the interfacial surface (interface particle - liquid medium), attributed to unit volume or mass of the system becomes much greater than that of a single particle. But with*

increasing particle size and concentration of the solid phase increases sharply toughness and strength of spatial patterns spontaneously arise in disperse systems.

Keywords: *hydraulic transport, energy, slurry pipeline, slurry diffusion.*

Зарубежный опыт эксплуатации магистральных пульпопроводов [1] показывает, что экономически целесообразно для перемещения более одного миллиона тонн в год твердого дисперсного материала по гидротранспортному трубопроводу на расстояния более 400 километров, иметь массовую концентрацию твердых частиц в пульпе не больше 48%, что соответствует 60-65% объемной концентрации. При этом турбулентный режим течения без заиливания, определяемый гранулометрическим составом пульпы, должен обеспечивать мгновенную скорость потока больше критической.

В механике сплошной среды рассматриваются физические поля, в каждой точке которых при турбулентном режиме задаются такие основные параметры: как осреднённые скорости и давления [2]. Для жидкой среды также как в гидравлике, в гидротранспорте вводится величина, называемая мгновенной скоростью, равная сумме осреднённой и пульсационной скорости, причём обе они имеют компоненты по координатным осям.

Считается, что в основном процессе гидротранспорта участвуют гидравлическая крупность (вниз) и действующая в противоположном направлении (вверх), так называемая турбулентная диффузия, которая определяется поперечными пульсационными скоростями в плоскости $y - z$ и при движении потока в направлении оси y в трубе выражается, как среднее значение произведения пульсационной скорости по оси y на расходную, объёмную концентрацию и равное произведению коэффициента Рейнольдса – Буссинеска (со знаком минус) на частную производную от расходной, объёмной концентрации по y .

На основании многих опытных данных можно полагать, что максимальные значения расходной, объёмной концентрации, при которой пульпопровод работает в турбулентном режиме стабильно в диапазоне значений от 0,2 до 0,4 и выше.

Известно, что первому этапу изучения явления турбулентности положили начало:

- 1) Буссинеск, предложивший разложение абсолютной (мгновенной) скорости V жидкости на осредненную \bar{V} и пульсационную V' составляющие, и
- 2) Рейнольдс, составивший систему незамкнутых динамических уравнений турбулентного режима, введя в уравнение Навье - Стокса шесть компонентов “добавочных” напряжений.

Шмидт и другие авторы подошли к вопросу иначе. Они ввели в рассмотрение лагранжевы переменные, что позволяет ближе подойти к описанию как самой турбулентности (процесс “перемешивания”), так и структур, в частности, течений гидросмеси и других многокомпонентных потоков. Введено было понятие концентрации

$$S = \sigma \cdot \rho, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, σ – дополнительное количество в единице объёма, переносимой жидкостью, либо плотности твёрдого компонента, либо его импульса и др.

Величина S как пульсирующая имеет абсолютное значение

$$S = \bar{S} + S', \quad (2)$$

где \bar{S} – среднее значение, S' – пульсационная составляющая.

В результате были получены зависимости (в проекциях по координатным осям x, y, z), имеющие вид:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial \bar{S}}{\partial x}); \quad \frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial \bar{S}}{\partial y}); \quad \frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial \bar{S}}{\partial z}); \quad (3)$$

где K_x, K_y, K_z – коэффициенты, требующие опытного определения.

Для плоской задачи уравнения турбулентной диффузии имеют вид [3]

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{V}_x \bar{S}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} K_{xy} \frac{\partial \bar{S}}{\partial y}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{V}_y \bar{S}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} K_{yx} \frac{\partial \bar{S}}{\partial x}, \quad (5)$$

где K_{xy}, K_{yx} – коэффициенты турбулентной диффузии.

В конкретных задачах эти уравнения требуют дополнительных упрощений. Решение, близкое к задачам гидротранспорта предложено А. Д. Гиргидовым [3].

Предложенная Гиргидовым А. Д. модель исходит из общего предположения, что функцией времени является совокупность трёх координат частицы и возможной скорости её движения. На основе предложенной модели диффузии получена система дифференциальных уравнений, описывающих движение частиц гидросмеси, содержащихся в турбулентном потоке, которая записывается в следующем виде

$$\frac{\partial S_k}{\partial t} + \frac{\partial V_\alpha^{(k)} S_k}{\partial x_\alpha} = S_i \cdot \omega_{ik}; \quad i, k = 1, \dots, n, \quad (6)$$

где $S_k(x, t)$ – осреднённая концентрация гидросмеси, частицы которой в данной точке пространства x в момент времени t имеют скорости $V^{(k)}$, $V_\alpha^{(k)}$ – проекция возможной скорости на ось x_α , $\omega_{ik}(x, t)$ – при $i \neq k$ частота (количество в единицу времени) изменения частицами гидросмеси скорости $V^{(i)}$ на скорость $V^{(k)}$; при $i = k$ величина $\omega_{ii}(x, t)$ представляет собой частоту изменения частицами суспензии скорости $V^{(i)}$ на любую другую возможную скорость; очевидно, $\sum_{i=1}^n \omega_{ik} = 0$.

Во втором слагаемом (6) нет суммирования по k . Осреднённая концентрация суспензии

$S(x,t) = \sum_{k=1}^n S_k(x,t)$. Число уравнений, входящих в систему (6), равно числу n возможных

скоростей $V^{(v)}$, которые частица гидросмеси может иметь в каждой точке пространства. Увеличивая число таких скоростей, можно уточнять модель диффузии, так что с заданной степенью точности частицы будут иметь возможность двигаться в любом направлении и с любой скоростью.

При решении этой задачи необходимо учитывать не только переносное движение частиц жидкой среды, но и их относительное движение (по отношению к окружающему и переносящему эти частицы элементарному объёму жидкости) под действием силы тяжести. Как обычно, было принято, что скорость относительного движения равна гидравлической крупности частиц суспензии.

Согласно решению полуэмпирического уравнения (3) гидравлическая крупность частиц, которые турбулентный поток может транспортировать во взвешенном состоянии, не ограничена.

В случае использования уравнений диффузии с конечной скоростью (ДКС) гидравлическая крупность частиц суспензии, которые могут двигаться во взвешенном состоянии, ограничена, она не может быть больше характерной вертикальной пульсационной скорости, что и определяет границу области распространения частиц с заданной гидравлической крупностью.

При расчёте отстойников использование уравнений ДКС позволяет учитывать такие факторы, как изменение по глубине концентрации взвешенных частиц и их гранулометрического состава во входном сечении. Позволяет решать инженерные задачи:

а) распределение по вертикали концентрации взвешенных частиц в турбулентном потоке (в каналах или трубах),

б) выпадение взвешенных частиц из турбулентного потока (например, в отстойниках или при напорном движении частиц по трубопроводам в режиме заиливания).

При расчёте движения взвешенных частиц [4] рассматривается модель диффузии с конечной скоростью (ДКС) в предположении, что в каждой точке пространства скорости частиц гидросмеси могут иметь конечное число фиксированных величин и направлений. Параметры, входящие в полученную систему уравнений, интерпретируются как характерные скорости частиц и как частоты изменения скоростей. При расчёте диффузии в турбулентном потоке указывается на возможность использования функции спектральной плотности пульсаций скорости для определения этих параметров.

Предложенные уравнения диффузии используются для расчёта движения и осаждения взвешенных частиц в турбулентном потоке. Благодаря гиперболическому типу этих уравнений удаётся определить границы области, занятой частицами суспензии.

При расчёте турбулентной диффузии (ДКС) можно учесть распределение кинетической энергии пульсационного движения жидкости по спектру частот [4].

Представим закон изменения кинетической энергии уравнением [5]:

$$\frac{D}{Dt} \int_{(W)} \frac{\rho V^2}{2} dW = \int_{(W)} VF\rho dW + \int_{(f)} Vp df - \int_{(W)} \Theta dW, \quad (7)$$

где первый интеграл правой части уравнения – мощность внешней объёмной силы $VF\rho dW$ при перемещении всего W ; второй интеграл – работа внешних поверхностных сил, действующих на поверхность f , ограничивающую объём W ; третий интеграл – работа внутренних сил или плотность распределения мощности внутренних сил или мощность, которая переходит в тепло и рассеивается. Функцию Θ называют диссипативной.

Учитывая уравнение (7) для неустановившегося напорного движения вязкой несжимаемой жидкости, а также считая, что плотность распределения объёмной силы F имеет потенциал Y , $F = grad Y$ и, используя выражение для субстанциональной производной $\frac{D}{Dt}$ и теорему

Остроградского-Гаусса для преобразования первого слагаемого в правой части (7) в поверхностный интеграл, получим [4]:

$$\frac{D}{Dt} \int_{(W)} \frac{\rho V^2}{2} dW + \int_{(f)} \frac{\rho V^2}{2} v_n df = \int_{(f)} \rho Y v_n df + \int_{(f)} v p_n df - \int_{(W)} \Theta dW. \quad (8)$$

Представив поверхность $f = f_{бок} + f_1 + f_2$, где f_1 и f_2 – площади поперечных сечений, ограничивающих поток с плавно изменяющимся движением, $f_{бок}$ – боковая поверхность потока, на которой в случае напорного движения выполняется условие «прилипания»: $Y = 0$. В результате получим уравнение Бернулли для неустановившегося движения в виде:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f + h_u, \quad (9)$$

где h_f – потеря механической мощности в потоке жидкости между сечениями 1-1 и 2-2, отнесённая к весовому расходу

$$h_f = \frac{1}{\gamma Q} \int_{(W)} \Theta dW, \quad (10)$$

где h_u – изменение в единицу времени кинетической энергии жидкости в объёме W при неустановившемся движении, отнесённое к весовому расходу.

Если движение во всех поперечных сечениях потока плавно изменяющееся, то, представив $dW = df dl$, где l – продольная координата оси потока, можно проинтегрировать выражение для h_u по каждому поперечному сечению $f(l)$:

$$\begin{aligned} h_u &= \frac{1}{\gamma Q} \frac{\partial}{\partial t} \int_{(w)} \frac{\rho V^2}{2} dW = \frac{1}{2gQ} \frac{\partial}{\partial t} \int_{(l)} dl \int_{(f)} V^2 df = \frac{1}{2gQ} \frac{\partial}{\partial t} \int_{(l)} \alpha^o(l,t) v^2(l,t) f(l) dl = \\ &= \frac{1}{2gQ} \frac{\partial}{\partial t} \left[Q^2 \int_{(l)} \frac{\alpha^o(l,t)}{f(l)} dl \right], \end{aligned} \quad (11)$$

где $\alpha_i^o = \frac{\int v_i^2 df}{v_i^2 f_i}$ - называется коррективом количества движения (коэффициент Буссинеска,

по аналогии с коэффициентом Кориолиса), $i = 1, 2, \dots, n$ - сечения трубопровода.

Если предположить, что изменением корректива количества движения во времени можно пренебречь, то выражение (11) приобретает вид

$$h_u = \frac{1}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} \int_{(l)} \frac{\alpha^o(l)}{f(l)} dl. \quad (12)$$

Практическая реализация турбулентной диффузии с конечной скоростью была осуществлена в гидравлических расчётах и соответствующих замерах на прямоточных циклонах ЦП-2500 для ОАО "СовПлим" с учётом диаметров частиц пыли и турбулентных пульсаций газового потока [5].

В применении к условиям гидротранспорта видно, что к потерям напора на трение жидкости и определяемых уравнением Дарси-Вейсбаха, необходимо добавить потери энергии на взвешивание твердых частиц в потоке и их колебательное движение, определяемые формулой (12), что можно записать в виде суммы

$$h_{nom} = h_f + h_u = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{g} \frac{dQ}{dt} \int_{(l)} \frac{\alpha^o(l)}{f(l)} dl.$$

Интегрирование второго слагаемого правой части уравнения приводит к общей формуле потерь напора в трубопроводе:

$$h_{nom} = h_f + h_u = \left(\lambda + \lambda^* \right) \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad (13)$$

где λ^* - коэффициент гидравлических сопротивлений, расходуемых на взвешивание и пульсационное движение твердой фазы в потоке гидросмеси.

Формула (13) по структуре аналогична известной формуле удельных потерь напора, применяемой в практике гидротранспорта

$$I_{cm} = I_0 + \Delta I_0, \quad (14)$$

где $I_{см}$ - удельные потери напора на перекачку гидросмеси; I_0 - удельные потери напора на перекачку чистой жидкости (воды); ΔI_0 - дополнительные удельные потери напора, на транспортирование твердых частиц.

Дополнительные потери напора на транспортирование твердой фазы в системах гидротранспорта крупнозернистых хвостов обогащения можно рассчитать по формуле [6]:

$$\Delta I = \delta \cdot \sqrt[4]{j} \cdot \sqrt[3]{c_{об}^2} \cdot \frac{V_{кр}}{V}, \quad (15)$$

где δ - коэффициент относительной крупности частиц, j - коэффициент разнородности твердых частиц, $c_{об}$ - здесь объемная концентрация, $V_{кр}$ - критическая скорость, м/с.

Из выражений (13) – (15) получим для коэффициента гидравлических сопротивлений λ^* следующую формулу:

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{I_0} k_d \cdot c_{об}^{0,7}, \quad (16)$$

где $k_d = \delta \cdot \sqrt[4]{j}$ - обобщенный коэффициент крупности твердых частиц.

В итоге формулу для удельных потерь напора можно записать в следующем виде

$$I_{см} = \left(\lambda + \frac{\lambda}{I_0} k_d c_{об}^{0,7} \right) \frac{v^2}{2gD} = \lambda \left(1 + \frac{k_d}{I_0} \cdot c_{об}^{0,7} \right) \cdot \frac{v^2}{2gD}, \quad (17)$$

Список литературы

1. Трайнис В. В. Магистральные углепроводы в США / Уголь. - 1978 . - № 11. - С. 74 – 77.
2. Нигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред / М. – Наука. - 1978. - с. 336.
3. Гиргидов А. Д. Турбулентная диффузия с конечной скоростью / Изд-во СПбТУ. 1996. - с. 259.
4. Гиргидов А. Д. Инженерно-строительные задачи механики жидкости / Л. ЛПИ. 1986 . - с. 80.
5. Зайцев Н. О. Расчёт эффективности пылеулавливания циклонного устройства для очистки газов от пыли / Научно-Технические Ведомости СПбГПУ. – 2006. - № 5. - С.197-202.
6. Шкундин Б.М. Землесосные снаряды / Изд-во Энергия. – Москва.- 1973. – С. 211-212.

ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД

Н.А. Шаповалов д.т.н., проф. (e-mail:marina76@mail.ru),

Р.Г. Шевцова к.х.н., доцент (e-mail:shevtsovarg@mail.ru),

А.И. Городов аспирант (e-mail:gorodov-andreyu@mail.ru),

А.А. Крайний ассистент (e-mail:krayniyanatoly@gmail.com),

И.Л. Винцовская, студентка (e-mail:vintsckowsckaya.ir@yandex.ru),

М.М. Рядинский, студент (e-mail:mixryad@mail.ru)

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, г.

Белгород. 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46. тел. 8(4722)550-516

***Аннотация.** Представлены результаты флотации апатит-нефелиновой руды рядом реагентов, выпускаемых отечественными и зарубежными производителями. Установлена более высокая селективность действия смеси 70 % ФСС + 30 % Флон-12/2 по сравнению со смесью из гидролизированных жирных кислот таллового масла и Фосфолана.*

***Ключевые слова:** флотация; апатит; нефелин; Фосфолан; жирные кислоты таллового масла.*

FLOTATION ENRICHMENT OF APATITE-NEPHELINE ORES

N.A. Shapovalov, DSc, prof. (e-mail:marina76@mail.ru), **R.G. Shevtsova**, PhD, Associate Professor (e-mail:shevtsovarg@mail.ru), **A.I. Gorodov** Postg. St. (e-mail:gorodov-andreyu@mail.ru), **A.A. Krainii**,

assist. (e-mail:krayniyanatoly@gmail.com), **I.L. Vintskovskaya**, stud. (e-

mail:vintsckowsckaya.ir@yandex.ru), **M.M. Ryadinskiy**, stud. (e-mail:mixryad@mail.ru)

V.G. Shukhova Belgorod State Technological University. Russia, Belgorod, Kostukova st., 46,

phone: 8(4722)550-516

***Abstract.** There are given some results of apatite-nepheline ores flotation enrichment some reagents produced by both home and foreign companies. The highest selectivity of mixture action 70 % FSM + 30 % Flon-12/2 is set in comparison mixture form hydrolized fat acids of tall oil and Phospholan.*

***Key words:** flotation; apatite; nepheline; Phospholan; tall oil fatty acids.*

Апатитсодержащие руды традиционно используются для производства минеральных удобрений (простого и двойного суперфосфатов, аммофоса, нитроаммофоса, нитрофоски, преципитата и др.), а также кормовых и технических фосфатов.

Месторождения апатитсодержащих руд широко распространены в России, а также во многих зарубежных странах (ЮАР, Бразилия, Зимбабве и др.). Большинство из них представлено

месторождениями комплексных руд. В России главную роль по запасам и добыче играют апатит-нефелиновые месторождения Хибинского массива (Кольский полуостров). Содержание P_2O_5 в рудах различных промышленно-генетических типов колеблется в широких пределах от 0,4 до 36,7 %. Кроме того, для апатит-нефелиновых руд важной составляющей является нефелин, концентрат которого используется для получения алюминия, а также соды, поташа, цемента, галлия.

Запасы богатых апатитовых руд постепенно истощаются. Это обстоятельство вызывает необходимость поиска новых перспективных видов сырья, а также вовлечение в переработку бедных руд и отходов горнопромышленных предприятий. Получить высококачественные апатитовые и нефелиновые концентраты можно с помощью флотационного обогащения.

Основным собирателем для флотации апатита за рубежом и в России является гидролизованное талловое масло и реагенты на его основе с добавками ПАВ. Наибольшая избирательность флотации апатита была достигнута с собирателем флотолом 7,9. Флотолы – это смеси производных дифосфоновых кислот. Например, активным компонентом флотола 7,9 является 50-60 %-ный водный раствор динатриевых солей смеси 1-оксиалкилиден-1,1-дифосфоновых кислот с C_7-C_9 . Однако этот реагент в настоящее время промышленностью не выпускается. Высокой селективностью при флотации апатит-нефелиновых руд, по сравнению с собирательной смесью из омыленных талловых масел и алкилбензолсульфонокислоты, обладает также Фосфолан PE65 фирмы Akzo Nobel [1-2].

На ОАО «Апатит» применяют фабричную собирательную смесь (ФСС), состоящую из гидролизованных талловых масел хвойных и лиственных пород древесины, дистиллированного таллового масла и алкилбензолсульфонокислоты. Омыленные талловые масла наряду с собирательными свойствами обладают пенообразующим действием, т.е. являются собирателями-пенообразователями. При этом селективность действия и пенообразующая способность собирательной смеси зависят от соотношения в ней реагентов, что используется как способ регулирования флотационных свойств собирателя при обогащении различных по составу и технологическим свойствам перерабатываемых руд [1].

В данной работе исследована возможность повышения селективности флотации апатит-нефелиновой руды с применением отечественных реагентов: Флон-7, Флон-12/1, Флон-12/2, Флон-10/1, Флон-10/2, производимых ООО «НПП ХимпромСервис», которые ранее для этих целей не испытывались. Действие этих реагентов сравнивали с результатами флотации смесью, состоящей из омыленных жирных кислот таллового масла и алкиловых эфиров фосфорной кислоты (Фосфолан фирмы Akzo Nobel) с соотношением моно- и диэфиров 1,1:1,4.

Исследования проводились на руде, подготовленной на апатит-нефелиновой обогатительной фабрике №3 (АНОФ-3) ОАО «Апатит». Гранулометрический состав питания флотации -34,2 мм +0,16 мм. Минералогический состав руды представлен в таблице 1.

Таблица 1.-Минералогический состав руды, %

Апатит	Нефелин	Эгирин	Сфен	Титано-магнетит	Гидрослюда	Лепидомелан	Полевые шпаты	Ильменит	Шламы
32,9	40,9	10,3±2,1	2,9±0,5	1,5	1,0±0,2	0,2±0,1	5,7±1,4	0,2±0,1	4,4

Содержание P₂O₅ в исходной руде 13,45±1 %, Al₂O₃ – 14,85±1 %.

Для оценки качества обогащения руды и подбора расхода реагентов проведена флотация в открытом (рис.1 а) и замкнутом циклах (рис.1 б).

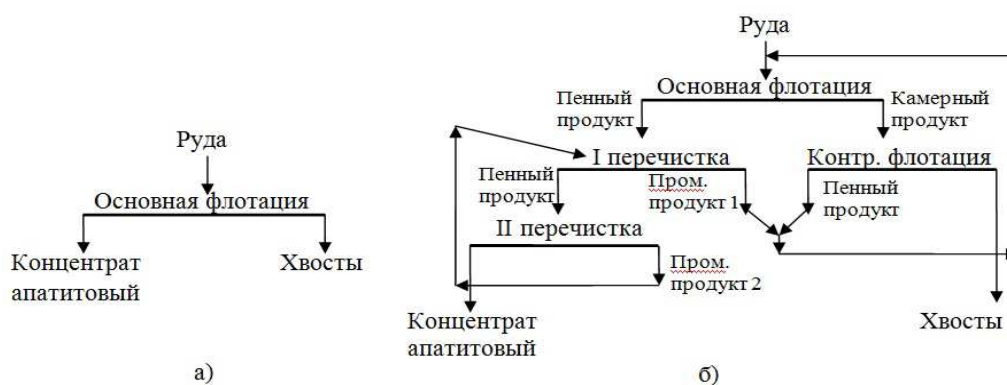


Рис. 1. Схемы флотации: а) открытый цикл; б) замкнутый цикл.

Лабораторные исследования проводились на флотационной машине ФМЗ. Флотационные опыты по открытому циклу проводились в камере объемом 1,5 л, число оборотов импеллера 1480-1520 об/мин, расход подаваемого воздуха 1,9 дм³/мин. Время флотации 5 мин. Навеска руды 550 г. Расход собирательной смеси 100 г/т. Температура пульпы колебалась от 18 до 21 °С. Во время флотации устанавливали щелочную среду (рН 9,4 – 9,8) пульпы 1 М раствором NaOH.

Показатели пены (коэффициент пены и её минерализация) определяли до разрушения и после разрушения пены по следующим формулам:

$$K_{n.исх} = \frac{V_{n.исх}}{P_1}; K_{n.раз} = \frac{V_{n.раз}}{P_1}; K_{раз} = \frac{K_{n.исх} - K_{n.раз}}{K_{n.раз}}; M_n = \frac{P_1}{P_2} \cdot 100$$

где: K_{п.исх.}, K_{п.раз.} – исходный коэффициент пены до и после разрушения, см³/г; K_{разр.} – коэффициент разрушения пены; V_{п.исх.}, V_{п.разр.} – объем пены до и после разрушения, см³; M_п – минерализация пены, %; P₁ – вес сухого концентрата, г; P₂ – вес сырого концентрата, г.

Определена эффективность флотационного процесса по формуле Ханкока-Луйкена:

$$\eta = \frac{\varepsilon - \gamma_k}{100 - \alpha} \cdot 100,$$

где: ε - извлечение P_2O_5 в концентрат; γ_k – выход концентрата; α – содержание P_2O_5 в исходном продукте.

Результаты флотации в открытом цикле представлены в таблицах 2-4.

Таблица 2.-Химический состав пенного продукта флотации (концентрат)

Собиратель	Содержание, %									
	CaO	P₂O₅	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SrO	F	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	прочее
ФСС	39,13	33,64	5,22	8,5	2,23	2,09	4,85	1,2	1,02	2,12
70% ФСС + 30% Фосфолан	38,01	33,36	5,64	9,09	2,26	2,01	5,12	1,31	0,986	2,214
70% ФСС + 30% Флон-12/2	39,17	33,68	4,53	7,97	2,52	2,25	5,10	1,63	1,15	2,00
70% ФСС + 30% Флон-7	37,85	32,56	5,22	9,01	2,25	2,31	5,82	1,69	1,25	2,04
70% ФСС + 30% Флон-12/1	36,24	31,65	6,59	10,77	2,00	2,02	5,75	1,53	1,14	2,31
70% ФСС + 30% Флон-10/1	35,89	31,27	6,08	10,56	2,27	1,80	6,59	1,99	1,37	2,18
70% ФСС + 30% Флон-10/2	35,4	30,93	6,57	10,97	2,27	1,94	6,64	1,77	1,28	2,23

Таблица 3.-Химический состав камерного продукта флотации (хвосты)

Собиратель	Содержание, %									
	SiO ₂	Al₂O₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	прочее
ФСС	34,04	21,15	10,06	13,29	8,99	4,2	3,51	2,05	1,17	1,54
70% ФСС + 30% Фосфолан	35,77	22,16	7,86	13,82	7,39	4,36	3,66	2,17	1,23	1,58
70% ФСС + 30% Флон-12/2	37,66	22,23	6,21	15,75	5,20	5,13	3,00	2,47	1,05	1,3
70% ФСС + 30% Флон-7	38,55	22,56	5,21	16,00	4,85	5,28	3,00	2,59	1,11	0,85
70% ФСС + 30% Флон-12/1	36,18	22,37	7,46	14,08	6,84	4,47	3,73	2,19	1,24	1,44
70% ФСС + 30% Флон-10/1	37,95	22,74	6,30	15,77	4,97	4,66	3,08	2,47	0,86	1,2
70% ФСС + 30% Флон-10/2	38,58	22,67	5,62	15,66	4,71	4,97	3,08	2,53	0,97	1,21

Таблица 4.-Сводные данные флотации в открытом цикле

Собиратель	концентрат			хвосты		извл. P ₂ O ₅ , %	η , %	V _п , см ³		K _{раз. п.}	M _п , %	
	Выход, %	P ₂ O ₅ , %	Al ₂ O ₃ , %	P ₂ O ₅ , %	Al ₂ O ₃ , %			исх	разр			
ФСС	19,27	33,64	5,22	10,06	21,15	48,20	33,42	397	368	0,08	34,19	
ФСС + Фосфолан	70%+30%	22,55	33,36	5,64	7,86	22,16	55,92	38,56	751	542	0,39	23,71
	75%+25%	23,27	31,70	5,93	6,52	22,53	54,85	36,48	758	672	0,13	22,90
	80%+20%	28,00	31,47	5,82	6,12	22,90	65,51	43,34	1083	758	0,43	24,10
	85%+15%	25,85	30,06	6,73	6,23	22,60	57,70	36,84	794	672	0,18	22,22
	90%+10%	26,91	28,90	7,11	7,39	22,26	57,82	35,71	1083	759	0,43	22,98
ФСС + Флон- 12/2	70%+30%	22,91	33,68	4,53	6,21	22,23	57,37	39,81	578	506	0,14	27,94
	75%+25%	22,36	31,52	7,17	8,65	22,77	52,41	34,71	513	433	0,18	27,27
	80%+20%	24,00	31,38	7,04	7,83	23,23	55,99	36,96	542	506	0,07	27,5
	85%+15%	26,00	30,96	7,19	6,98	23,70	59,85	39,10	621	578	0,08	25,18
	90%+10%	24,55	30,60	7,72	7,12	23,74	55,84	36,16	672	614	0,09	22,77
70% ФСС + 30% Флон 7	24,18	32,56	5,22	5,21	22,56	58,54	39,69	648	576	0,13	20,00	
70% ФСС + 30% Флон 12/1	24,36	31,65	6,59	7,46	22,37	57,33	38,09	549	506	0,09	26,43	
70% ФСС + 30% Флон 10/1	26,91	31,27	6,08	6,30	22,74	62,56	41,19	816	751	0,09	23,34	
70% ФСС + 30% Флон 10/2	26,73	30,93	6,57	5,62	22,67	61,46	40,13	722	686	0,05	21,78	

Данные таблиц 2-4 свидетельствуют о том, что собирательная смесь 70 % ФСС + 30 % Флон-12/2 показала лучший результат по содержанию в концентрате P_2O_5 (33,68 %) и Al_2O_3 (4,53 %). При этом флотация сопровождается несколько повышенным пенообразованием по сравнению с ФСС, однако пена быстро разрушается, о чем свидетельствует $K_{разр}$. Эффективность флотации (39,81 %) и извлечение P_2O_5 (57,37 %), также превышают значения с использованием ФСС и 70 % ФСС + 30 % Фосфолан. С увеличением в смеси содержания ФСС при флотации (ФСС + Флон-12/2) качество концентратов снижается также, как в случае флотации (ФСС + Фосфолан).

Собирательные смеси 30 % ФСС + 70 % Флон-10/1 и 30 % ФСС + 70 % Флон-10/2, показали большой выход, извлечение и эффективность, однако качество концентрата ниже, чем при использовании ФСС. По показателям минерализации пены смесь, состоящая из 70 % ФСС + 30 % Флон-12/2 ($M_n = 27,94$ %), превосходит смесь 70 % ФСС + 30 % Фосфолан ($M_n = 23,71$ %). Однако, наиболее плотная пена, образуется при использовании ФСС ($M_n = 34,19$ %). Более пустая пена при использовании 70 % ФСС + 30 % Флон 7 ($M_n = 20,00$ %).

Была исследована флотация в замкнутом цикле. Основная и контрольная флотации проводились при таких же параметрах, как и флотация по открытому циклу.

Первая перемешка концентрата проводилась в камере объемом 1 л, число оборотов импеллера 1480-1500 об/мин, расход воздуха 1,26 $дм^3/мин$. Время флотации 3 мин. Вторая перемешка концентрата проводилась в камере объемом 0,5 л, число оборотов импеллера 1460-1480 об/мин, расход воздуха 0,63 $дм^3/мин$. Время флотации 3 мин. Для флотации по замкнутому циклу шло распределение расхода собирателя по операциям (67% в основную, 33% в контрольную флотацию). При флотации первой навески в основную флотацию расчетный расход собирателя увеличивался на 30%, с целью компенсации остаточной концентрации в промпродуктах, не поступающих в первую навеску. Испытания по замкнутому циклу будут продолжены.

Сопоставление результатов флотации показывает, что более селективной по сравнению со смесью омыленных жирных кислот таллового масла и Фосфолана является смесь 70 % ФСС + 30 % Флон 12/2, используемая в замкнутой схеме флотации.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № НК 14-41-08015/14 р_офи_м.

Список литературы

1. Оценка селективности флотации апатита из комплексной руды / А.А. Лавриненко, Э.А. Шрадер, А.Н. Харчиков, И.В. Кунилова // Инновационные процессы

комплексной и глубокой переработки минерального сырья: Международное совещание «Плаксинские чтения 2013». Томск. 16-19 сентября 2013. С. 366–368.

2. Иванова В.А., Митрофанова Г.В. Особенности флотации апатита из складированных отходов обогащения апатит-нефелиновой руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №5. С. 135–141.

УДК 546.65:541.8

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Л.В. Григорьева

к.х.н., доцент (e-mail: mango55@mail.ru)

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Россия, г.Санкт-Петербург

Аннотация: Рассмотрено влияние на человека продуктов окисления при использовании природных энергоносителей.

Ключевые слова: нефть, уголь, природный газ, оксид углерода, карбоксигемоглобин, бензпирен.

SECURITY ISSUES USE OF NATURAL ENERGY

L.V. Grigoreva, Ph.D., Associate Professor,

National University of mineral resource "Mountain"

Russia, St. Petersburg

Abstract: Considered the influence of man on the oxidation products of the use of natural energy.

Keywords: oil, coal, natural gas, carbon monoxide, carboxyhemoglobin, benzpyrene.

Нефть – ценное углеводородное сырье для нефтехимической промышленности и органического синтеза. Использование нефти как топлива в двигателях внутреннего сгорания не только не рационально, но и пагубно для самого, использующего этот двигатель – человека.

В отработанных выхлопных газах содержится продукт окисления углеводородов – бензпирен, обладающий канцерогенными свойствами. При поступлении в организм этого соединения происходит его дальнейшее окисление под действием фермента оксидоредуктазы-I, до соединения, которое и является канцерогеном, воздействующим на ДНК и вызывающим её мутацию – повреждение, влекущее за собой безудержный рост клеток. В организме присутствует и другой фермент оксидоредуктаза-II, действие которого

направлено на разрушение канцерогена и превращение его в безвредные для организма вещества.

От соотношения количества ферментов оксидоредуктаза-I / оксидоредуктаза-II зависит вероятность возникновения онкологии. На это соотношение безусловно оказывает влияние и генетический фактор. Благоприятное соотношение ферментов имеют примерно 45% людей, еще у 45% людей количество фермента оксидоредуктазы-I в 15 раз превышает количество фермента оксидоредуктазы-II, что свидетельствует о большом риске заболевания, у оставшихся 10% концентрация оксидоредуктазы-I в 30 раз превышает содержание оксидоредуктазы-II. По имеющимся данным [1] глобальная эмиссия бензпирена в природную среду составляет 5000 тонн в год.

Уголь – более распространенный вид топлива, его запасы значительнее нефтяных, но и загрязнений, связанных с выбросами не полностью сгоревших пылевидных низкозольных частиц достаточно много. В печах, работающих на углях, особенно на распыленных, при неполном сгорании выделяется значительное количество дыма (то есть твердых частиц) и продуктов неполного его сгорания, а именно: оксида углерода, который соединяясь с гемоглобином крови, образует карбоксигемоглобин:



Оксид углерода блокирует доступ кислорода к гемоглобину и уменьшает тем самым одну из основных задач крови – способность переносить кислород, то есть питать клетку.

Среди наиболее значительных выбросов следует отметить кроме того: взвешенные вещества, такие как пыль угля и кокса; отработанные газы и пары, такие как: сернистый ангидрид, сероводород, различные соединения азота; углеводороды.

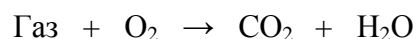
Основные источники примесей атмосферы и их ежегодные выбросы по данным [2] приведены в табл.1.

Таблица 1.-Источники выбросов веществ в атмосферу

Примеси	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе, мг/м ³
	естественные	антропогенные	
Пыль	Вулканические извержения, пылевые бури, лесные пожары и др.	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках	В городах 0,04...0.4
Диоксид серы	Вулканические извержения, окисление серы и сульфатов, рассеянных в море	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках	В городах до 1,0

Оксиды азота	Лесные пожары	Промышленность, автотранспорт, теплоэлектростанции	В районах с развитой промышленностью до 0,2 В городах 1...50
Оксид углерода	Лесные пожары, выделения океанов	Автотранспорт, промышленные энергоустановки, предприятия черной металлургии	
Летучие углеводороды	Лесные пожары, природный метан	Автотранспорт, испарение нефтепродуктов	В районах с развитой промышленностью до 0,3
Полициклические ароматические углеводороды	–	Автотранспорт, химические и нефтеперерабатывающие заводы	В районах с развитой промышленностью до 0,01

Природному газу, по-видимому, будет принадлежать первенство в энергетике первой четверти текущего века, так как это более экологически приемлемый вид энергии, который сгорает полностью до углекислого газа и воды:



В свою очередь, углекислый газ, полученный при сгорании, поглощается и является жизненно необходимым для роста лесов, зеленых насаждений, а они в свою очередь являются “легкими нашей планеты”.

Главной задачей современной цивилизации поэтому является переход на новый способ взаимодействия с природой через создаваемую им культуру недопущения подрыва воспроизводительных сил природы.

Список литературы

1. *Владимиров А.И.* Экология нефтегазового комплекса: Учебн. пособие / А.И. Владимиров, В.В. Ремизова.—М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2013, 415 с.
2. *Климов С.Л.* Энергосбережение и проблемы экологической безопасности в угольной промышленности России / С.Л. Климов, Д.Г. Закиров — М.: 2009, 210 с.

УДК 622.765

ФЛОТАЦИЯ ГЕМАТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ КАТИОННЫМИ СОБИРАТЕЛЯМИ

Н.А. Шаповалов д.т.н., проф. (e-mail:marina76@mail.ru),

А.А. Крайний ассистент (e-mail:krayniyanatoly@gmail.com),

А.И. Городов аспирант (e-mail:gorodov-andreyy@mail.ru),

А.А. Хачатуров , студент, **О.В. Сорокина** , студентка

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 308012,

Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46. тел. 8(4722)550-516

Аннотация. Представлены результаты флотационного обогащения гематитовых кварцитов Михайловского месторождения различными катионными собирателями. Рассчитаны коэффициенты эффективности и проанализированы основные показатели флотации. Изучен химический, минералогический и гранулометрический состав гематитовых кварцитов. Определена их удельная поверхность и распределение частиц по размерам до и после флотации.

Ключевые слова: обогащение; гематитовые кварциты; флотация; флотационные реагенты.

FLOTATION HEMATITE QUARTZITE CATIONIC COLLECTORS

N.A. Shapovalov, DSc, prof. (e-mail:marina76@mail.ru), **A.A. Krainii**, assist. (e-

mail:krayniyanatoly@gmail.com), **A.I. Gorodov Postg. St.** (e-mail:gorodov-andreyy@mail.ru), **A.A.**

Hachaturov , stud., **O.V. Sorokina** , stud.

V.G. Shukhova Belgorod State Technological University. Russia, Belgorod, Kostukova st., 46,

phone: 8(4722)550-516

Abstract. Show the results of flotation hematite quartzites cells of different cations Mikhailovsky deposit gatherers. Effectiveness ratios were calculated and analyzed the main indicators of flotation. Survey the chemical, mineralogical and granulometric composition of hematite quartzites. Decree specific surface area and particle size distribution before and after the flotation.

Keywords: separation; hematite quartzites; flotation; Flotation reactant.

Россия является одной из стран, имеющей огромные запасы железорудного сырья. Получение товарных продуктов требует обогащения этого сырья. Железосодержащая руда делится на магнитную и немагнитную фракцию. Широко используемые в России классические методы обогащения железных руд, в том числе мокрая магнитная сепарация,

позволяют обогащать в основном только магнитную фракцию. Вследствие этого немагнитные – гематитовые руды направляют в отвалы. Каждый год в отвалы сбрасываются миллионы тонн хвостов, содержание железа в которых может достигать 40%. Мировой опыт обогащения показывает, что немагнитные – гематитовые руды можно обогащать методом обратной катионной флотацией. Флотация представляет собой сложный многоступенчатый технологический процесс, требующий вовлечение значительного количества химических реагентов. В связи с этим была исследована флотационная активность ряда катионных собирателей как импортного, так и отечественного производства.

Сырьем для флотации служили гематитовые кварциты Михайловского месторождения, состоящие из отходов рудоподготовки и хвостов мокрой магнитной сепарации. Химическая, минералогическая и гранулометрическая характеристики представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1.-Элементный состав в пересчете на оксиды, %

Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	CO ₂	ППП
30,4±1	2,4±0,5	59,7±2	2,8±0,5	1,8±0,3	1,6±0,3	0,4±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,05±0,01	0,3±0,1	3,9±0,5

Таблица 2.-Минералогический состав, %

Гематит	Магнетит	Гидроксиды железа	Силикаты	Рудные карбонаты	Нерудные карбонаты	Апатиты	Кварц	Прочие
26,2±1	1,1±0,3	3,9±0,5	16,2±0,7	5,7±0,5	2,2±0,3	0,5±0,1	43,6±2	0,7±0,1

Таблица 3.-Гранулометрический состав, %

Класс крупности, мм	+1,2	- 1,2+0,23	- 0,23+0,16	- 0,16+0,074	- 0,074+0,04	- 0,04	Итого
Выход, %	1,2	4,8	2,7	8,6	7,9	74,8	100

Гематитовые кварциты Михайловского месторождения – это мелкодисперсные отходы, содержание гематита в которых свыше 26%, а кварца порядка 43%. Модуль крупности значительно меньше единицы, около 83% частичек меньше 0,074 мм.

Присутствие крупных частиц затрудняет процесс флотации, поэтому перед флотацией убрали крупную фракцию (>0,074 мм.). Общая удельная поверхность после рудоподготовки составила 0,38 м²/г.

Лабораторные исследования проводили на флотационной машине ФМ – 3 с автоматическим регулированием числа оборотов импеллера, количества подаваемого воздуха, температуры пульпы и скорости съема пены. Схема лабораторного флотационного процесса представлена на рисунке 1.

Контролировали содержание оксидов железа и кремния в исходном продукте (питание флотации), камерном продукте (концентрат) и хвостах флотации.

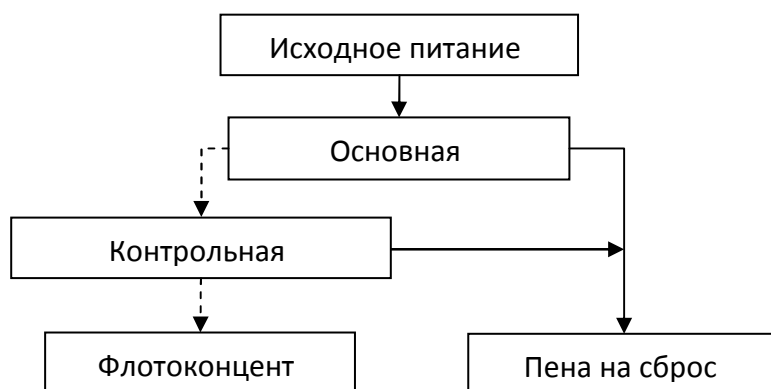


Рис. 1. Схема флотационного обогащения гематитовых кварцитов в лабораторных условиях

Катионные собиратели – это в основном азотосодержащие соединения, поэтому их выбор был обусловлен наличием аминных групп. Для проведения флотационного обогащения использовали следующие собиратели: индивидуальные амины – додециламин и октиламин; смесь талловых оксиэтилированных аминов; импортный диаминэфир – РА-14 (США); отечественный флотореагент ФЛОН.

Растворы собирателей были на 30% ацилированы 10% уксусной кислотой. Концентрацию изменяли в пределах от 50 до 350 г/т.

В роли депрессоров использовали следующие реагенты: крахмал; таннин; глицерин; неонол; суперпластификаторы – реотан, С-3 и Melment.

По результатам работы, подробно представленным в статье [1], определено, что наибольшим коэффициентом эффективности обладают собиратели ФЛОН и РА-14, поэтому при дальнейших исследованиях целесообразно будет использовать данные флотационные реагенты. Их оптимальная концентрация составила 250-300 г/т.

Наибольшим депрессирующим действием по отношению к оксиду железа обладает гидролизованный крахмал. Его оптимальная концентрация составляет 500 г/т.

Так же установлено, что для получения качественного товарного продукта и увеличение процента извлечения ценной породы в процесс флотации необходимо включать перечистку пенного продукта и контрольную флотацию концентрата [2].

Учитывая результаты ранее проведенных экспериментов [1-2], флотацию проводили при оптимальных концентрациях флотационных реагентов. При этом количество подаваемых реагентов в камеру при контрольной флотации уменьшали в 2 раза в соответствии с заводскими рекомендациями. Результаты флотации представлены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, после введения контрольной флотации наибольший коэффициент эффективности показывает предложенный флотореагент ФЛОН.

Таблица 4.-Показатели основной и контрольной флотации

№ н / п п	Наименование собира- теля	Концентрация собира- теля, г/т		Концентрация депрессора, г/т		Выход кон- центрата, %	Содержание оксидов в камерном продукте, % ¹		Коэффициент эффективности ²
		Осн. фл.	Контр. фл.	Осн. фл.	Контр. фл.		Fe ₂ O ₃	SiO ₂ общ.	
1	ФЛОН	250	125	500	250	26	61	16	0,99
2	РА-14					24	60	18	0,80

¹Общее содержания минералов в пересчете на их оксиды.

²Отношение масс Fe₂O₃ к SiO₂ общ. в концентрате, умноженное на выход концентрата.

Распределение химических элементов в пересчете на их оксиды до и после флотационного обогащения гематитовых кварцитов представлено на рисунке 2.

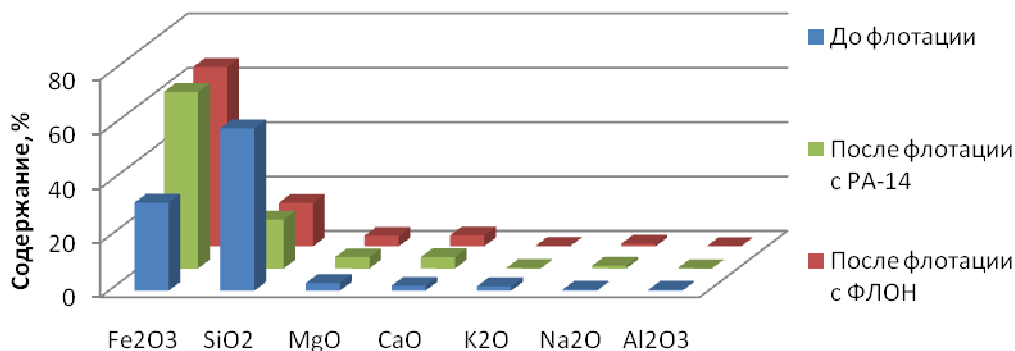


Рис. 2. Распределение химических элементов в гематитовых кварцитах до и после флотации

Из рисунка 2 видно, что в результате флотационного обогащения из гематитовых кварцитов с содержанием общего железа 32% и оксида кремния 60% был получен железорудный концентрат с содержанием общего железа 61% и оксида кремния 16%.

При анализе продуктов флотации определяли коэффициент разрушения и минерализацию пены (табл. 5), распределение частиц по размеру в концентрате и пенном продукте (рис. 3) [2].

Таблица 5.-Коэффициент разрушения и минерализация пены

Концентрация, г/т	ФЛОН			РА-14		
	Объем пены, см ³	$K_{разр.}$	M_n	Объем пены, см ³	$K_{разр.}$	M_n
250/125	4130	0,73	30,65	4936	0,52	31,12

Как свидетельствуют данные, представленные в таблице 5, коэффициент разрушения пены при флотации флотореагентом ФЛОН чуть превышает коэффициент по сравнению с РА-14, однако это не влияет на минерализацию пены и качество конечного концентрата. На рисунке 3 представлено распределение частиц по размерам в продуктах флотации с использованием флотореагента ФЛОН и РА-14.

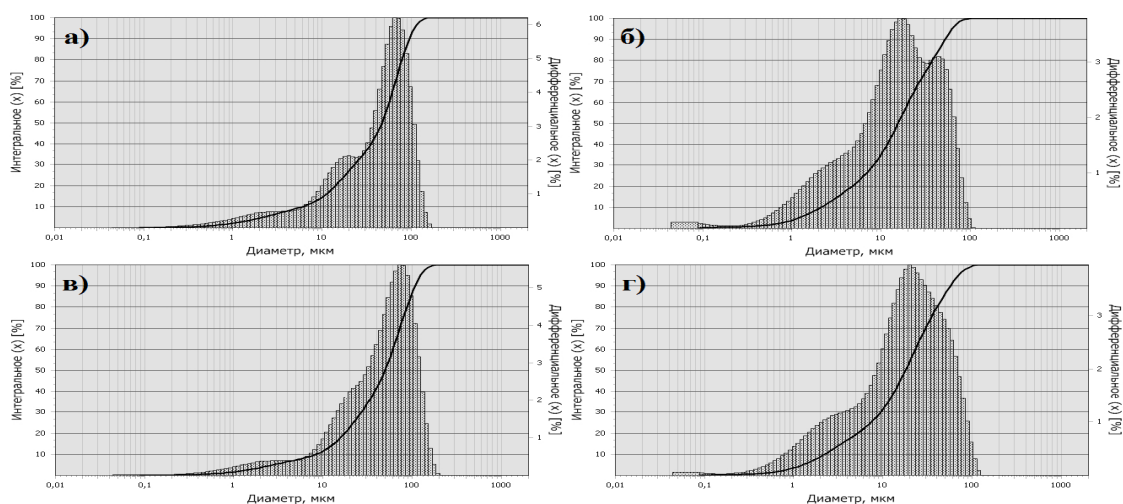


Рис. 3. Распределение частиц по размеру: а) концентрат с РА-14; б) пенный продукт с РА-14; в) концентрат с ФЛОН; г) пенный продукт с ФЛОН

Анализируя данные представленные на рисунке 6 видно, что в обоих случаях распределение частиц по размерам происходит в равной степени без значительных смещений и скачков.

Комплексный анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективными флотореагентами при флотации гематитовых кварцитов Михайловского месторождения оказались отечественный собиратель ФЛОН и импортный собиратель РА-14, а наиболее активным депрессором – гидролизованный крахмал.

В результате из гематитовых кварцитов с содержанием общего железа и кремния 32 % и 60% соответственно, получили концентрат с содержанием общего железа 61 %, а общего кремния в пересчете на оксид 16 %. Выход концентрата составляет 26 % от массы исходной загрузке.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № НК 14-41-08015/14 р_офи_м.

Список литературы

1. Флотация отвальных хвостов мокрой магнитной сепарации неокисленных железистых кварцитов / Крайний А.А. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 156-159.
2. Изучение влияния различных видов собирателей и депрессоров на флотацию железосодержащих минералов Михайловского месторождения / Шаповалов Н.А., Крайний А.А., Городов А.И, Макущенко И.С. // Фундаментальные исследования. 2014. № 9. (часть 2) С. 318-323.

УДК 669.053

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОТИТАНИСТОГО ШЛАКА ИЗ ИЛЬМЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

М. Акнурланулы¹, магистрант (e-mail: aknurlanuly@bk.ru),

В.Е. Рошин¹, проф., д. т. н. (e-mail: roshchine@susu.ac.ru),

Ю.А. Гудим², проф., д. т. н. (e-mail: kontakt-ru@technologiya-metallov.com)

¹Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76

²ООО «Промышленная компания «Технология металлов», 454106, г. Челябинск, ул. Косарева, 63

Аннотация: рассмотрены варианты пирометаллургической переработки ильменитовых концентратов с целью получения двух продуктов – первородного железа и высокотитанистого шлака. Представлены сравнительные оценки процессов жидко- и твердофазного восстановления.

Ключевые слова: ильменитовый концентрат; твердофазное восстановление; высокотитанистый шлак; разделительная плавка.

OBTAINING HIGH-TITANIUM SLAG FROM ILMENITE CONCENTRATE

M. Aknurlanuly¹ (e-mail: aknurlanuly@bk.ru), V. E. Roshchin¹ (e-mail:

roshchine@susu.ac.ru), Y.A. Gudim² (e-mail: kontakt-ru@technologiya-metallov.com)

¹South Ural State University (NRU)¹, Russia, 454080, Chelyabinsk, Lenin Avenue, 76

²«Industrial Company «technology metals»²,
Russia, 454106, Chelyabinsk, st. Kosarev, 63

Abstract: the variants of the pyrometallurgical processing of ilmenite concentrates to produce two products - original iron and high-titanium slag. The comparative evaluation of the processes of liquid and solid phase of recovery.

Keywords: ilmenite concentrate; solid-phase recovery; high-titanium slag; isolation melting.

Введение. Обычно производство губчатого титана из ильменитового сырья осуществляется в три стадии: получение титанового шлака, хлорирование с целью получения тетрахлорида титана и восстановление титана из тетрахлорида титана магнием. В данной работе рассматривается одна из стадий – получение титанового шлака. Как известно, ильменит состоит из оксидов титана и железа. Хлорирование такого сырья без пирометаллургического обогащения нецелесообразно, поскольку железо является нежелательной примесью при хлорировании. Поэтому производится пирометаллургическое обогащение, в результате которого происходит восстановление железа. При этом получается два товарных продукта – богатый по содержанию титановый шлак и попутный металл – первородное железо.

Целью данной работы является получение шлака с высоким содержанием оксида титана для дальнейшего производства титана.

Объектом исследования были ильменитовые концентраты, в виде порошкообразного материала. Химический состав концентрата: TiO_2 46,20%; Fe_2O_3 16,45; FeO 34,20%; Al_2O_3 0,42%; SiO_2 0,89%; P_2O_5 0,015%; V_2O_5 0,24%; Cr_2O_3 0,058%;

Методика проведения экспериментов. Для восстановления железа и перевода титана в шлаковую фазу использовали два варианта восстановительного процесса: жидкофазное и твердофазное.

Эксперименты проводили в печи Таммана с графитовым нагревателем по использовавшимся ранее методикам [1, 2]. Процесс восстановления в жидкой фазе проводили при температуре 1580°C и выдержке 20 мин. Исходная шихта состояла из ильменитового концентрата, кокса и извести. Перемешанную шихту засыпали в графитовый тигель, расплавляли и проводили жидкофазный восстановительный процесс. При твердофазном восстановлении шихта была такой же, как и при жидкофазном восстановлении. Для более полного контакта материалов их использовали в мелких фракциях. Шихту перемешивали и изготавливали на прессе цилиндрические брикеты. В качестве связующего использовали смесь жидкого стекла с водой в количестве 10% от массы шихты. Процесс твердофазного карботермического восстановления осуществляли при температуре 1250°C и времени выдержки 90 мин.

Результаты экспериментов. Вид и химические составы фаз образцов после восстановления приведены на рис. 1 и в табл. 1.

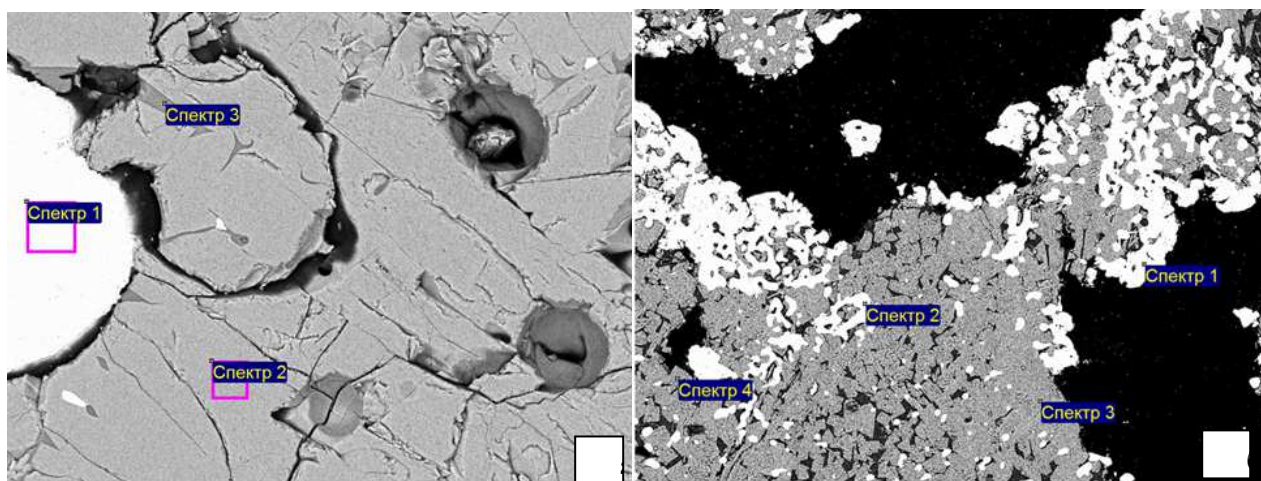


Рис. 1. Вид фаз продуктов восстановления: а – жидкофазного, б – твердофазного

Таблица 1.-Содержание элементов (мас. %) в точках анализа

	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe
Фазы на рис. 1, а									
Спектр 1	5	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	93.1
Спектр 2	0.0	41.8	0.7	1.2	0.1	0.0	47.3	0.7	8.2
Спектр 3	16	43.9	0.4	3.8	15.7	3.2	4.0	4.9	7.8
Фазы на рис. 1, б									
Спектр 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.0	99.4
Спектр 2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.5	0.5	0.0	98.6
Спектр 3	0.0	41	1.5	0.0	0.1	0.4	56.0	0.0	0.6
Спектр 4	0.0	43	0.1	0.0	0.6	24.8	30.3	0.0	1.4

Как видно на рис. 1,б, продукт твердофазного восстановления состоит из двух твердых фаз – металлической и шлаковой, которые необходимо разделить. Поэтому полученный твердофазным восстановлением материал подвергали жидкофазному разделению плавлением в графитовом тигле. Температура разделения фаз составила 1600°C. В результате разделения получили металл и шлак, вид которых представлен на рис. 2, а и б.

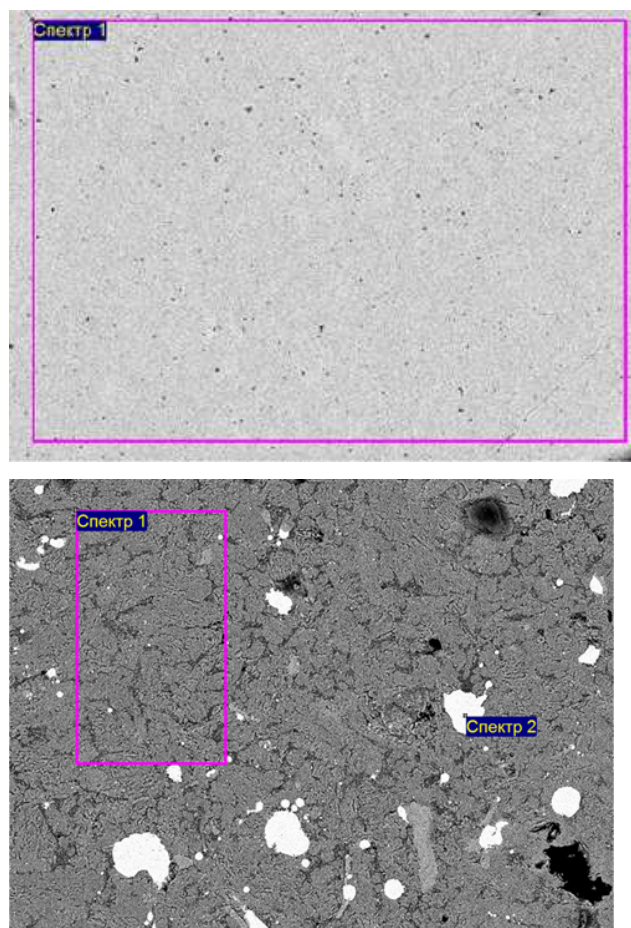


Рис. 2. Продукты жидкофазного разделения: а – металл, б – шлак

Таблица 2.- Содержание элементов (мас. %) в продуктах жидкофазного разделения

	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe
Состав металла, рис. 2 а							
Спектр 1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.5	98.8
Состав шлака и металла, рис. 2 б							
Спектр 1	41	0.7	0.5	2.4	13.7	41.2	0.6
Спектр 2	0.0	0.1	0.0	0.5	0.2	0.6	98.6

Как видно, содержание железа в шлаковой фазе после разделения продуктов твёрдофазного восстановления (табл. 2) меньше, чем в шлаке при жидкофазном восстановлении. Это показывает, что при твердофазном восстановлении железо восстанавливается до более высокой степени, соответственно выход попутного металла больше и шлак в меньшей степени разбавляется оксидом железа.

Выводы:

- Экспериментально подтверждена возможность твёрдофазного восстановления железа из ильменитового концентрата, с получением высокотитанистого шлака.

- Полученный попутный металл может использоваться в качестве шихтового материала в сталеплавильном производстве.
- В шлаке твердофазного процесса меньше остатков оксида железа чем при жидкофазном восстановлении. Такой шлак может применяться при дальнейшей переработке при производстве губчатого титана.

Список литературы

1. Рощин, В.Е. Селективное восстановление металлов в решётке комплексных оксидов / В.Е. Рощин, А.В. Рощин // Металлы. – 2013. – № 2. – С. 12–20.
2. Рощин, В.Е. Физические основы селективного восстановления металлов в кристаллической решётке комплексных оксидов / В.Е. Рощин, А.В. Рощин // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. – 2013. – № 5. – С. 44–54.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛИЗОВАННЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

И.Е. Ходосов (e-mail: Khodosov@mail.ru)

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

Россия, г. Новокузнецк

Аннотация: представлены результаты исследований процессов получения металлизированных продуктов путем твердофазного восстановления с использованием каменных углей Кузбасса в качестве твердых углеродистых восстановителей.

Ключевые слова: железо прямого восстановления; твердофазное восстановление; углеродистые восстановители; каменный уголь.

PRODUCTION OF METALIZED UNITS WITH COALS USAGE

I.E. Hodosov (e-mail: Khodosov@mail.ru)

Abstract: the potential of coals usage as a raw material from Kuzbass region was investigated for metalized units production by means of solid-state reduction.

Keywords: DRI; reducing agents; coal.

Одна из основных задач металлургии – создание и внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий переработки железных руд российских месторождений. Повышение эффективности использования железных руд возможно при получении из них металлизированных продуктов, которые можно использовать для выплавки сталей

ответственного назначения, содержащих пониженное количество остаточных элементов, таких как Cu, Sn, Mo, Ni, Cr. Наибольшее развитие получили такие технологии производства металлизированных продуктов, при которых в качестве теплоносителя и восстановителя используется конвертируемый природный газ. Однако в мире до 9 % железа прямого восстановления производят с применением твердых восстановителей. Использование твердого топлива в качестве восстановителей при получении металлизированных продуктов является перспективным направлением металлургии железа. По сравнению с традиционными способами металлизации, основанными на применении в качестве восстановителя конвертируемого природного газа, применение твердого топлива позволяет значительно снизить себестоимость продукции за счет более низкой стоимости сырья и возможности создания компактных промышленных агрегатов [1-3]. В условиях Кузбасса наиболее рациональным представляется вовлечение каменных углей в процессы получения металлизированных продуктов.

Твердофазное восстановление, протекающее при взаимодействии оксидов железных руд с твердыми углеродистыми восстановителями, представляет интерес с точки зрения организации технологии получения металлизированных продуктов. Использование каменных углей при твердофазном восстановлении связано с влиянием на восстановительные процессы продуктов термического разложения углей.

Восстановительному обжигу подвергали смеси железной руды и восстановителей. В качестве восстановителей использовали: уголь бурый марки Б2 (разрез Итатский); уголь длиннопламенный марки Д (Талдинское месторождение); уголь слабоспекающийся марки СС (Беловский угленосный район); коксовый орешек (ОАО «Алтай-кокс»). Химический и фазовый состав железной руды и технические характеристики восстановителей приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Фазовый и химический состав железной руды

Фазовый состав							
Много:	гематит (Fe_2O_3)						
Присутствует:	магнетит ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), гетит ($\alpha\text{-FeOOH}$), кварц (SiO_2), каоленит ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$)						
Немного:	хлорит железа, полевошпат						
Химический состав, %							
$\text{Fe}_{\text{об}}$ шт.	SiO_2	Al_2O_3	P_2O_5	S	CaO	MgO	влага
52,3	14,2 4	2,51	0,07 2	0,42	0,94	0,76	5,78

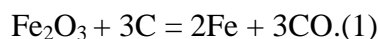
Таблица 2 – Технические характеристики восстановителей

Восстановитель	Характеристика			
	Содержание [C] в рабочей массе, %	A ^d (зола), %	V ^{daf} (летучие), %	W ^r (влага), %
Уголь - 2Б	49,1	7,83	46,76	35,3
Уголь - Д	55,6	5,64	43,53	15,4
Уголь - СС	70,02	6,4	34,3	6,7
Кокс	84,56	9,41	1,83	3

Состав золы

	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SiO ₂	S
Уголь - 2Б	10,30	5,40	45,30	5,90	0,20	26,90	0,68
Уголь - Д	8,17	25,60	9,70	3,70	1,80	50,00	0,61
Уголь - СС	17,46	26,55	1,2	1,58	0,5	51,1	0,02
Кокс	13,12	23,72	5,15	1,76	0,69	47,9	0,02

Исследования включали изучение кинетики процессов твердофазного восстановления железа из оксидов железной руды методом периодического взвешивания. Эксперименты проводили в печи сопротивления. Экспериментальным материалом являлись брикетированные рудовосстановительные смеси. Количество восстановителя в смеси соответствовало необходимому для полного восстановления железа, согласно стехиометрии реакции:



Методика экспериментов заключалась в следующем. Тигель с брикетом вводили в горячую зону нагретой до температур эксперимента печь сопротивления, после чего с интервалом в 1 мин регистрировали убыль массы. Эксперименты проводили при температурах 1273, 1373, 1473 К, продолжительность изотермической выдержки составляла 90 мин. Изучение фазового и структурного состава полученных продуктов выполняли на дифрактометре ДРОН-2 и микроскопе GX-51. В полученных в результате экспериментов материалах методами химического анализа определяли содержание Fe_{общ}, Fe_{мет}, расчетным путем определяли степень металлизации – φ_{мет}, согласно формулы:

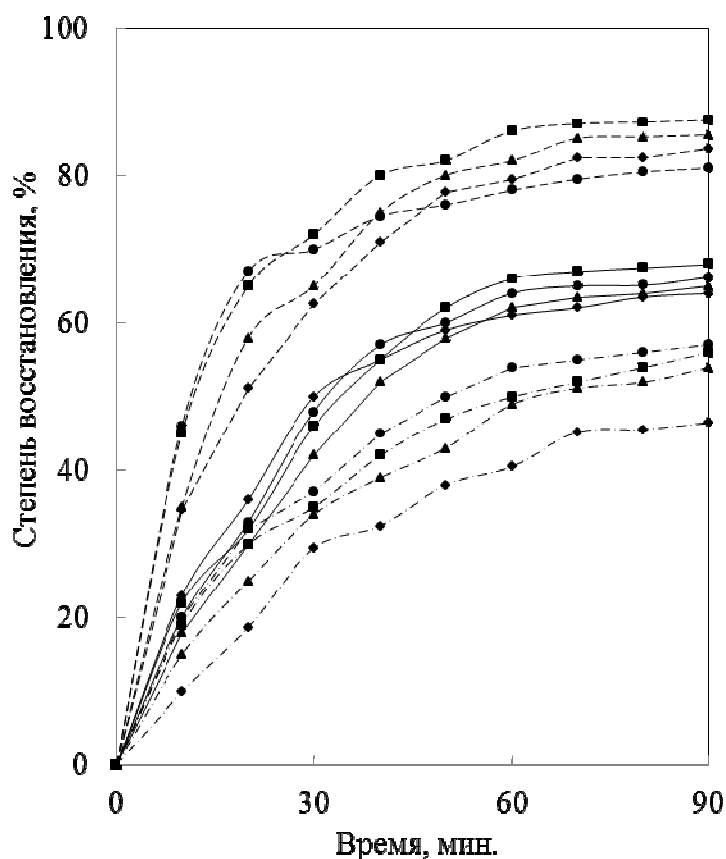
$$\varphi_{\text{мет}} = \text{Fe}_{\text{мет}} / \text{Fe}_{\text{общ}} \cdot 100 (2)$$

где Fe_{мет} – содержание железа металлического, %;

Fe_{общ} – содержание железа общего (сумма окисленного и металлического железа), %.

Расчет степени восстановления проводили с учетом потери массы навески с поправками на содержание в смеси влаги и улета летучих. Критерием 100 % восстановления считали потерю навески массы, соответствующей суммарному образованию монооксида углерода

по реакции (1). В результате обработки экспериментальных данных построены кинетические кривые восстановления железа из оксидов железной руды с использованием в качестве восстановителя углей разных технологических марок и кокса (рисунок 1).



Температура выдержки: - · - · - 1273 К; — — — 1373 К; - - - - 1473 К.
 Восстановитель: ◆ — коксовый орешек; ▲ — уголь СС; ■ — уголь Д; ● — уголь Б2.

Рисунок 1 – Зависимость степени восстановления от времени изотермической выдержки

Из приведенных зависимостей следует, что в результате изотермической выдержки при температуре 1473 К в течение 60 мин наибольшая степень восстановления железа наблюдалась при применении брикетов, составленных с использованием в качестве восстановителя длиннопламенного угля. Полученный материал содержит $Fe_{мет} - 83 \%$, при $\varphi_{мет} - 96 \%$. В результате изотермической выдержки при температурах 1373 К и 1273 К в течение 60 мин наибольшая степень восстановления у брикетов, составленных с использованием в качестве восстановителя бурого угля. Материал, полученный при температуре 1373 К содержит $Fe_{мет} - 67 \%$, при $\varphi_{мет} - 98 \%$. Материал, полученный при температуре 1273 К содержит $Fe_{мет} - 50 \%$, при $\varphi_{мет} - 97 \%$.

Результаты исследований кинетики твердофазного восстановления железа из оксидов железной руды можно интерпретировать следующим образом.

В процессах твердофазного восстановления железа из оксидов железной руды участвуют продукты термического разложения углей. Для каждой технологической марки угля характерно различное протекание процессов термической деструкции. Уголь, находящийся в рудо-угольной смеси, в условиях недостатка кислорода внутри брикета газифицируется с образованием CO , H_2 , $\text{C}_{\text{саж}}$ в результате чего происходит изменение реакционной способности угля и структуры материала. Таким образом, восстановительный потенциал угля при твердофазном восстановлении зависит от скорости и характера процесса газификации углерода. С.Т. Ростовцев относит к числу факторов, оказывающих влияние на процесс газификации угля, физическое состояние углерода, в частности размеры и степень совершенства кристаллов графита. Чем больше расстояние между базисными плоскостями кристаллической решетки углеродистого восстановителя, тем легче в него проникает окислитель и тем быстрее он сгорает. Неплотное расположение плоскостей решетки наблюдается у молодых видов топлив, например у бурого угля; наиболее плотная укладка является характерной для графита. Значения пористости и содержания летучих компонентов косвенно определяет степень метаморфизма угля. Обобщая вышеизложенное, можно сделать вывод, что угли с высоким содержанием летучих обладают высоким восстановительным потенциалом. Данный вывод подтверждает последовательность расположения кинетических кривых при температурах экспериментов 1273 и 1373 К.

Повышение температуры изотермической выдержки до 1473 К увеличивает скорость протекания восстановительных процессов. Однако последовательность расположения кинетических кривых отличается от последовательности кинетических кривых при температурах изотермической выдержки 1373 и 1273 К. Анализ минерального состава и структур полученных материалов показал образование шлаковой фазы. На рисунке 2 представлены микроструктуры материалов, полученных в результате восстановительного обжига рудо-угольных брикетов при 1473 К, в течение 90 мин, с использованием в качестве восстановителей длиннопламенного и бурого углей. В структурах полученных материалов наблюдается различный характер распределения шлакообразных включений. Для металлизированного материала составленного с бурым углем характерна более развитая губчатая структура. Наибольшее количество силикатов присутствует на границах металлического каркаса брикета составленного с бурым углем. Образованные силикаты снижают газопроницаемость материала, и тем самым замедляют протекание восстановительных процессов. Раннему образованию шлаковой фазы, вероятно, способствует высокое содержание оксидов кальция в золе бурого угля.

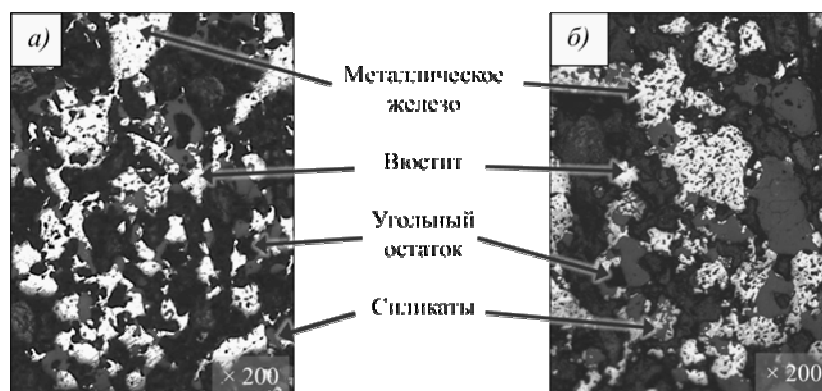


Рисунок 2 – Микроструктуры металлизированных материалов, полученных с использованием в качестве восстановителя длиннопламенного (а) и бурого (б) углей

Продуктом восстановительного обжига во всех опытах является губчатый материал с развитым в той или иной степени металлическим каркасом. Физико-химические свойства углей оказывают влияние на формирование структуры материала и интенсивность протекания восстановительных процессов. Применение углей с высоким содержанием летучих компонентов интенсифицирует восстановительные процессы. Применение в качестве твердых восстановителей различных технологических марок углей при твердофазном восстановлении железа из оксидов железной руды позволяет получить металлизированные продукты с содержанием металлического железа 80 – 85 %, что делает их пригодными для использования при выплавке стали.

Список литературы

1. Юсфин Ю.С. Новые процессы получения металла / Ю.С. Юсфин, А.А. Гиммельфарб, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М: Наука, 1976. – 278 с.
2. Углеродотермическое восстановление ильменитовых концентратов в твердой фазе /А.В. Сафонов, Н.Ф. Якушевич, Б.М. Лебошкин, С.О. Гордин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия – 2004. – № 2. – С. 19–22.
3. Кинетика восстановления железорудного концентрата углем / А.М. Амдур, А.М. Потапов, А.Л. Разницина, М. Лхамсупен // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия – 2012. – № 8. – С. 17–20.

МАГНИТОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

В.В. Коровушкин¹, М.Н. Шипко², А.В. Смагина¹, Б.А. Староверов², В.А. Глухих³

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». г. Москва, Россия. e-mail: smagina.albina@gmail.com, krvsch@mail.ru,

²РЭУ им. Г.В.Плеханова (Ивановский филиал), г. Иваново, Россия. e-mail: ivrgteu_nir@mail.ru; sba44@mail.ru

³ОАО «ЕВРАЗ КГОК». Свердловская обл., г. Качканар, Россия. e-mail: kgok@kgok.ru

***Аннотация:** Проанализированы причины низкой прочности железорудных окисленных окатышей. Показано, что одной из них является зональность окатышей, заключающаяся в образовании гематитовой оболочки и магнетитового ядра. Предложена методика магнитоимпульсной обработки окатышей и определен оптимальный режим работы установки, позволяющий повысить прочность сырых и обожженных окатышей.*

***Ключевые слова:** магнитоимпульсная обработка, железорудные окатыши, прочность на сжатие, магнетитовое ядро, гематитовая оболочка, режим, импульс, длительность, пауза, мощность, оптическая микроскопия, мёссбауэровская спектроскопия.*

Железорудные окисленные окатыши являются наиболее перспективным видом сырья для доменной плавки. К необходимым металлургическим свойствам окатышей относятся: содержание железа, холодная и горячая прочность, быстрая восстановимость и высокая температура размягчаемости. В связи с возрастающими требованиями к качеству окатышей, задача повышения их механической прочности весьма актуальна.

Поиск путей решения данной задачи ограничивается рядом особенностей производства окатышей и большим количеством факторов, влияющих на формирование их прочностных свойств, таких как гранулярный состав, пористость и их удельная поверхность, наличие трещин, количество и состав пустой породы, режим обжига (температура обжига, скорость обжиговой ленты, скорость подвода газа-теплоносителя), высота слоя окатышей в паллете, толщина слоя постели, степень офлюсования, а также макро- и микроструктура окатышей [1].

Достаточная прочность холодных окатышей позволяет транспортировать их на дальние расстояния и определяет технико-экономические показатели последующей доменной плавки.

На качество обожженных окатышей решающее влияние оказывает их технология (режим высокотемпературного окисления окатышей), вследствие чего окатыши могут иметь зональное строение и состоять из двух зон – периферийной гематитовой и центральной магнетитовой. Такая структура возникает в основном при недостаточном времени или низкой температуре обжига, не обеспечивающих глубокого проникновения кислорода в центральную зону окатышей. В узкой промежуточной зоне паллеты могут присутствовать окатыши, содержащие железо в виде гематита и магнетита. При повышенной температуре обжига (свыше 1300 °С), магнетит может образоваться повторно за счет диссоциации гематита [2,3].

Целью настоящей работы являлось установление причин низкой прочности зональных железорудных окатышей и выявление возможности использования метода магнитоимпульсной обработки, для повышения их прочностных характеристик, без изменения содержания железа в окисленных окатышах.

Для этого в работе была изучена структура, фазовый и химический состав зональных неофлюсованных окатышей отечественных комбинатов, была исследована их прочность на сжатие, состав ядра и оболочки. Особое внимание в работе уделено изучению присутствующих железосодержащих фаз, которые являются не только основными ценными компонентами, но, наряду со связующими силикатами, определяют прочность окатышей. Для достижения заданной цели были использованы методы оптической микроскопии, рентгеновской дифракции, мёссбауэровской спектроскопии, синхронного термического анализа. Магнитоимпульсная обработка осуществлялась в разработанной нами установке. Проверка прочности окатышей на сжатие проводилась на прессе с тензорным датчиком давления компании DACELL. На рис. 1 приведены микроснимки шлифов зональных окатышей.

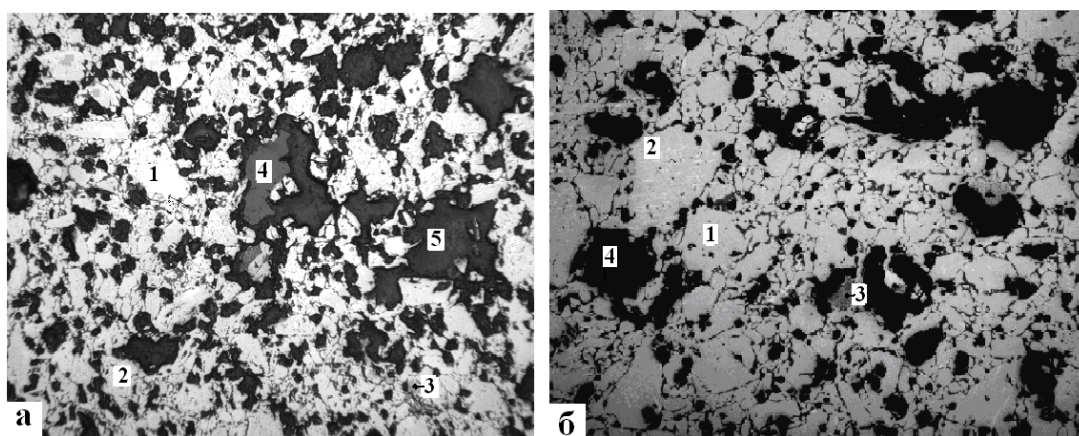


Рис.1.

Микроснимки зонального окатыша (увеличение x 500):

а – граница оболочки и ядра окатыша (1 – гематит; 2 – магнетит; 3 – силикатная связка; 4 – зерно кварца; 5 – пустоты); б – ядро окатыша (1 – магнетит; 2 – гематитовая сетка по магнетиту на границе с оболочкой; 3 – зерно силиката; 4 – пустоты).

Оболочка окатышей отличается от ядра составом рудной фазы и микроструктурой основной рудно-силикатной массы (рис. 1а). Обращает внимание отсутствие в составе оболочки окатышей неусвоенных при обжиге кремнийсодержащих минералов руды. Магнетит концентрата почти целиком окислен до гематита, включая всю крупную фракцию. Стеклофаза развита во всем объеме оболочки окатышей, упрочняя зерна гематита. Ядра окатышей более пористые представляют собой двухфазную систему в виде магнетита и зерен пустой породы. В зернах магнетита на границе раздела ядра с оболочкой развита гематитовая сетка (рис. 1б). Пленки стеклофазы наблюдаются локально и только на месте ранее существовавших легкоплавких силикатов.

Различие фазового состава и структурного состояния ядра и оболочки подтверждается результатами мёссбауэровской спектроскопии (рис.2). Было установлено, что в ядре содержится магнетит (94,2% по железу и гематит 5,8% по железу) (секстеты С2, С3, С4, рис.2а), а оболочка (рис. 2б) состоит полностью из гематита. Мёссбауэровские параметры ядра и оболочки неофлюсованного окатыша показаны в таблице 1. Исходя из того, что в мёсбауэзовском спектре магнетита присутствуют три секстета, обусловленные неэквивалентными положениями железа можно утверждать, что он является нестехиометрическим и имеет меньшую прочность, чем стехиометрический магнетит.

Сопоставление полученных результатов для неофлюсованных окисленных окатышей различных ГОКов России показало, что среднее

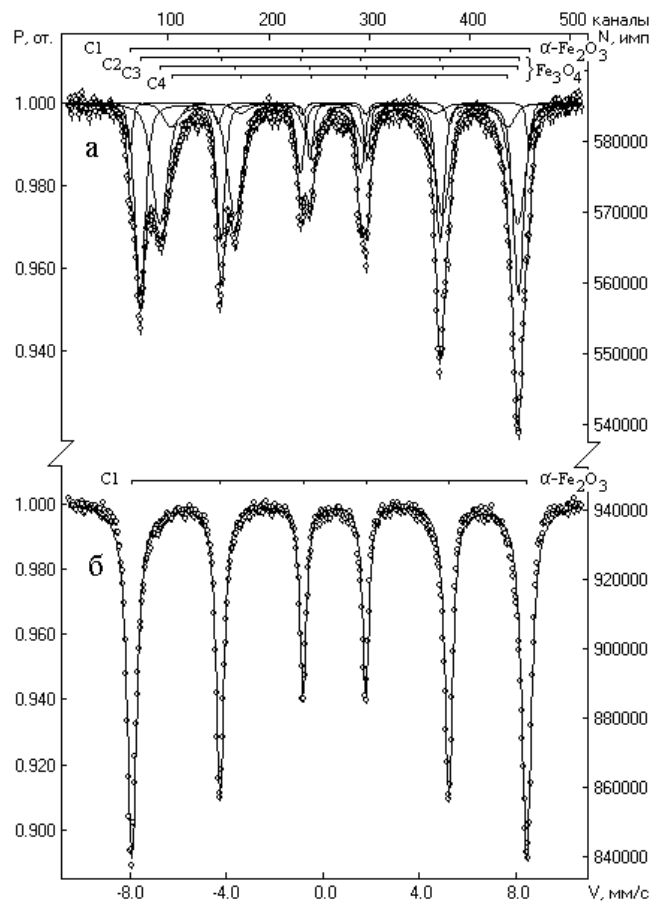


Рис. 2. Мессбауэровские спектры зонального окатыша: а – ядро; б – оболочка

Таблица 1.-Мёссбауэровские параметры ядра и оболочки нефлюсованного окатыша

Образец	Компонен-та спектра	Изомер-ный сдвиг δ , мм/с	Квадру-польное расщеп-ление Δ , мм/с	Магнит-ные поля на ядрах Fe^{57} Н, кЭ	Площади компо-нент S, %.	Интерпре-тация
Оболочка	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,21	508	100	Гематит
Ядро	C1(Fe^{3+})	0,37	-0,18	516	6	Магнетит
	C2(Fe^{3+})	0,29	-0,04	488	39	
	C3($Fe^{3+}+Fe^{2+}$)	0,66	0,01	462	37	
	C4($Fe^{3+}+Fe^{2+}$)	0,66	0,04	433	18	

Ошибки измерения: $\delta = \pm 0,01$; $\Delta = \pm 0,01$; $H = \pm 0,5$

значение прочности варьируется в достаточно широких пределах – от 150 до 325 кг/окатыш, несмотря на их одинаковый типоразмер. Это свидетельствует о различии микро- и кристаллической структуры исследуемых окатышей.

Для определения взаимосвязи между прочностью окатышей на сжатие и их структурой, была проведена серия экспериментов для нескольких партий из 20 окатышей. На рис. 3 приведены зависимости прочности окатышей от относительного диаметра магнетитового ядра и от содержания железа в магнетите.

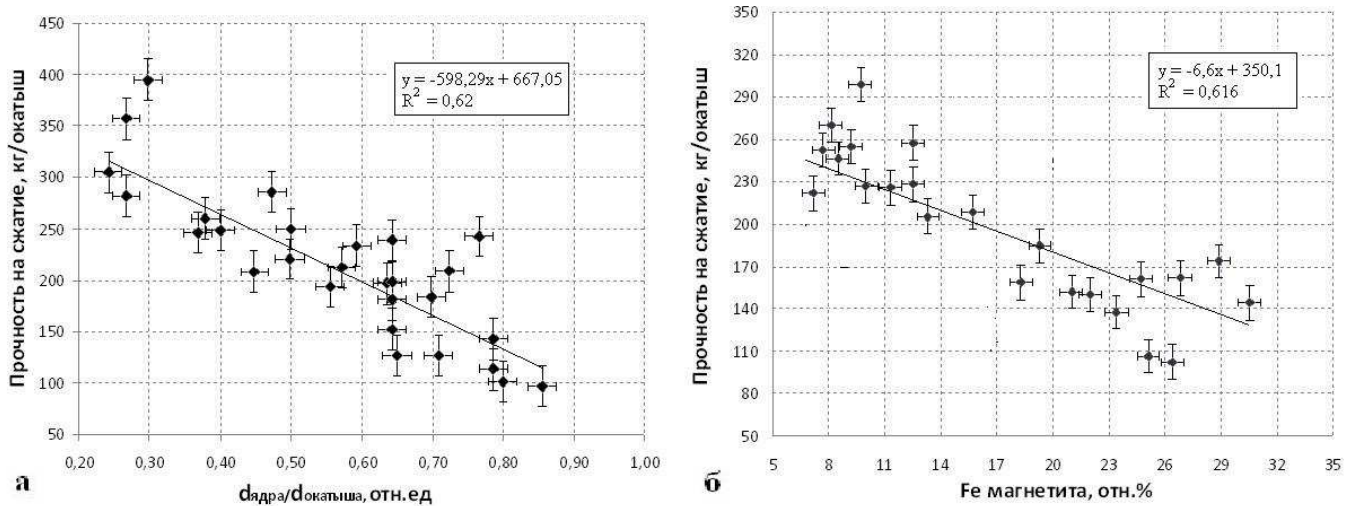


Рис. 3. Зависимость прочности окатышей на сжатие

а – от отношения диаметра ядра к диаметру окатыша; б – от содержания железа в магнетите (по данным мессбаэуровской спектроскопии)

Аналогичные результаты получены и методом рентгенофазового анализа окатышей, (XRF/XRD метод). Как видно из рисунков 3а и 3б зависимости прочности от содержания магнетита и от размера магнетитового ядра можно считать линейными.

Наблюдаемое изменение прочностных свойств можно объяснить совместным присутствием в окатышах гематита и магнетита. Недоокисленные ядра, обладающие более низкой прочностью на сжатие, микротвердостью, большей удельной поверхностью и суммарным объемом пор, больше подвержены трещинообразованию, чем гематитовая оболочка. Это может быть связано, с возникающими напряжениями в ядре в результате его усадки, что приводит к растрескиванию и потере прочности окатыша в целом. Следовательно, прочность окатышей связана с их макроструктурой, неоднородность которой явно прослеживается в разных слоях паллеты. Поэтому подобрать оптимальный режим, при котором однородность структуры окатышей будет достигнута во всем объеме паллеты обжиговой машины достаточно сложно. Интенсификация нагрева окатышей на обжиговой машине может привести к раннему жидкофазному спеканию окатышей верхнего слоя паллеты, при достижении оптимальных условий обжига для нижнего слоя. В то же время, более высокие температуры обжига приводят к повышенному расходу природного газа на обжиг в целом [3].

Существенное влияние на прочность и упрочнение окатышей оказывают также состав шихты. В связи с этим большое число работ по повышению качества окатышей посвящено поиску заменителей бентонита, в связи с возрастающим его дефицитом и значительной удаленностью его месторождений от фабрик окомкования. Известны способы упрочнения окатышей путем добавки в шихту в качестве связующего различных материалов. Полностью

или частично заменить дорогостоящий бентонит, может измельченный кимберлит, нонtronит, красный шлам, отходы травителя медных плат на основе хлорного железа, шлам обогащения гетит-гидрогетитовых руд, а также бенто-полимерные композиции [4-7]. Однако, упомянутые заменители обеспечивают оптимальную прочность окатышей при их повышенном содержании в шихте по сравнению с бентонитом. Основным же недостатком всех заменителей бентонита является тот факт, что при их использовании уменьшается содержание железа в окатышах, являющегося важным показателем их металлургических свойств.

В связи с этим перспективными методами упрочнения окатышей могут быть такие, которые влияют на их свойства, не изменяя химического состава шихты. К таким методам можно отнести магнитоимпульсную обработку, как возможный эффективный способ повышения холодной прочности окатышей.

В НИТУ "МИСиС" и РЭУ им. Г.В.Плеханова ведутся исследования влияния слабого низкочастотного, магнитного поля на спиновое состояние атомов железа и, как следствие, на локальные характеристики кристаллической решетки сплавов и сталей, на их физико-механические параметры и, прежде всего, на их прочностные характеристики [8]. В результате проведенных исследований было установлено, что после обработки в низкочастотном импульсном магнитном поле прочностные характеристики материала (твердость и нагрузка появления трещин) повышаются. Изменение этих величин связывается с перераспределением внутренних напряжений вследствие упорядочивания вакансий и изменения дислокационной структуры материала. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими представлениями по магнитоимпульсному воздействию на твердые тела [9-13].

Такая обработка была использована в экспериментах на окатышах, полученных в производственных условиях на ОАО «ЕВРАЗ КГОК». Особенностью применяемой установки от известных в литературе являлось использование возможности формирования в индукторе импульсов малой длительности от 0,01 с до 2 с, с регулируемой скважностью (паузой), амплитудой и формой импульсов.

Влияние воздействия импульсного магнитного поля на прочность окатышей оценивалось путем проведения экспериментальных исследований опытных образцов, подвергавшихся обработке магнитным полем различной формы и напряженности при различных комбинациях числа импульсов, длительности и паузы между ними. В результате проведения более 200 экспериментов были выбраны прямоугольная форма и диапазоны изменения указанных параметров воздействия, оказывающие наиболее положительное влияние на прочность продукта. В нижеприведенной таблице приведены результаты сравнительных

исследований образцов железорудных окатышей диаметром 12–13 мм без обработки и подвергнутых магнитоимпульсной обработке со следующими параметрами воздействия: число импульсов n от 20 до 30; амплитуда магнитных импульсов B от 0,1 до 0,05 тл; длительность импульса $\tau_{имп}$ в пределах от 0,1 до 2 с, длительность паузы $\tau_{инт}$ от 1 до 2 с. Прочность на сжатие оценивалась в кг/окатыш.

Таблица 2.-Результаты упрочнения окатышей с помощью магнитоимпульсной обработки

№ п/п	Режимы обработки окатышей	Число окатышей в выборке	Средняя прочность окатышей в выборке, кг/ок.	% упрочнения
Окатыши ОАО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК»				
1	Исходные	20	226	
2	$B= 0,05$ тл, $n = 30$	12	248	9,7
3	$B= 0,1$ тл, $n = 20$	10	239	5,8
4	$B= 0,06$ тл, $n = 20$	15	273	20,7
5	$B= 0,06$ тл, $n = 50$	10	239	5,8

Из результатов, показанных в таблице 2, видно, что прочность окатышей повышается до 20 % в зависимости от режима обработки [14]. Для отдельных окатышей эффект упрочнения достигал до 30%. Полученные результаты упрочнения окатышей показали положительный эффект их магнитоимпульсного упрочнения, однако практическое использование подобной установки на производстве сопряжено с технологическими трудностями, связанной с обеспечением необходимой производительности обработки окатышей в режиме «online». В связи с этим работы по упрочнению сырых и обожженных окатышей были продолжены в направлении повышения качества связующего материала – бентонита, расход которого при производстве окатышей составляет в шихте не более 1 %..

Для выявления зависимостей прочности сырых окатышей от режима магнитоимпульсной обработки бентонита был изготовлены две партии сырых окатышей с различным составом шихты: №1 - 99,4 % масс. концентрата, 0,6 % масс. бентонита влажностью 10 %; № 2 - 99,3 % масс. концентрата, 0,7 % масс. бентонита влажностью 8 %. В приведенной таблице 3 приведены результаты исследований прочности двух партий сырых окатышей в соответствии с составами шихты № 1 и № 2 при различных режимах магнитоимпульсной обработки бентонита.

Таблица 3-Результаты прочности сырых окатышей с исходным и обработанным бентонитом

Режимы обработки бентонита	Число окатышей в выборке	Средняя прочность, кг/ок	% упрочнения
Выборка 1			
Исходный бентонит	14	0,80	-
Бентонит после МИО (30 имп)	14	0,94	17,5
Выборка 2			
Исходный бентонит	10	0,47	-
Бентонит после МИО (10 имп)	10	0,62	31,9
Бентонит после МИО (30 имп)	10	0,56	19,1

Анализ результатов, приведенных в таблице 3, указывает на значимое увеличение прочности сырых окатышей на сжатие, что подтверждает наличие эффекта упрочнения и дает возможность, с одной стороны экономить бентонит, а с другой повышать прочность сырых окатышей.

Повышенные качества обработанного бентонита можно объяснить большей способностью удерживать влагу за счет уменьшения дефектности структуры при магнитоимпульсной обработке, что было подтверждено в результате синхронного термического анализа. Если потеря массы в исходном бентоните в интервале температур 63 – 369 °С составила 3,89 %, то после магнитоимпульсной обработки потеря массы в том же температурном интервале показала лишь 3,04 %. Большая способность бентонита удерживать влагу обеспечивает большую его связующую способность, что сказывается и при обжиге окатышей. Так при исследовании прочности обожженных окатышей с исходным и обработанным бентонитом были получены окатыши с более высокой прочностью на сжатие (табл. 4).

Таблица 4-Результаты сравнения прочности окатышей с необработанным бентонитом и после магнитоимпульсной обработки

Число исходных окатышей	Средняя прочность окатышей на сжатие, кг/ок	Число обработанных окатышей	Средняя прочность на сжатие, кг/ок	% упрочнения
С исходным бентонитом		С обработанным бентонитом		11
15	183	13	203	

Предложенный способ магнитоимпульсной обработки окатышей и бентонита, используемого в качестве связующего при их производстве, позволяет увеличить прочность сырых и

обоженных железорудных окатышей, уменьшать долю разрушившихся частиц при транспортировке их от обжиговой машины до загрузки в доменную печь. В свою очередь способ можно использовать для увеличения производительности обжиговых машин с доводкой прочности обоженных окатышей до оптимальной с помощью магнитоимпульсной обработки.

Список литературы:

1. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф., Антоненко Л.К., Жак Р.М., Майзель Г.М., Базилевич Т.Н. / Интенсификация производства и улучшение качества окатышей – М.: Металлургия, 1994.– 240 с.
2. Горбачев В.А., Абзалов В.М., Юрьев Б.П. / Известия вузов. Черная металлургия. 2007. № 6. С. 11 – 13.
3. Меламуд С.Г., Юрьев Б.П. / Сталь. 2012. №6. С 8-12.
4. Савельев С.Г., Чижикова В.М. / Ин-т Черметинформация. Черная металлургия. 1986. №1. С. 30.
5. Бакумова Н.В., Варгина О.А. / Известия вузов. Черная металлургия. 1989г. № 7. С. 20 – 21.
6. Юсфин Ю.С., Коровушкин В.В., Ануфриева С.И., Тихомиров В.Б., Сладкова Г.А., Дуров Н.М., Макеев Д.Б., Темнов А.В. / Известия вузов. Черная металлургия. 2001. №3. С. 9 – 14.
7. Пат. 2245930 РФ. Бруев В.П., Воеводин Л.И., Евстюгин С.Н., Горбачев В.А., Вахрушев Л.П., Кретов С.И., Леонтьев Л.И., Шаврин С.В. Шихта для производства окатышей для металлургического производства.
8. M.N.Shipko, V.V.Korovushkin, A.V.Smagina, V.G.Kostishyn, L.V.Kozhitov. Influence of Magnetic Pulseprocessing on Oxide Materials Physics and Mechanical Properties. Journal of Nano- and Electronic Physics. Vol. 6, No 3, 03060 (5pp) (2014).
9. Альшиц В.И., Даринская Е.В., Перекалина Т.М. / ФТТ. 1987. № 2. С. 467 – 470.
10. Альшиц В.И., Даренская И.В., Калдаева М.В. и др. / Кристаллография. 2003. Том 48. №5. С. 826 – 854
11. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б., Иванов В.Е. / Физика твердого тела. 1997. Том 39. №11. С. 2 – 8.
12. Володин В.Л., Зуев Л.Б., Володин Т.В. / Известия Вузов. Черные металлы. 2009. №8. С.23-26.
13. Володин В.Л., Зуев Л.Б., Володин Т.В. / Известия Вузов. Черные металлы. 2009. №10. С.28-34.
14. Пат. 2476607 РФ. Коровушкин В. В, Шипко М.Н., Староверов Б.А., Подгородецкий Г.С., Дуров Н.М., Смагина А.В. Способ обработки железорудных окатышей.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ

И. А. Краснянская, инженер,

Г. С. Подгородецкий, к.т.н.,

С. Н. Падерин, д.т.н., профессор

Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Москва, Ленинский пр-т, 4. E-mail: e-mail: iakrasnyanskaya@gmail.com

Аннотация: Для определения факторов, влияющих на степень удаления оксида фосфора из оксидного расплава в газовую фазу, были проведены серии экспериментов с различной основностью (CaO/SiO_2) и продувкой с различным соотношением CO/CO_2 . Полученная в ходе кинетических расчетов величина кажущейся энергии активации процесса $E=140\pm 56$ кДж/моль позволяет предположить, что процесс лимитируется диффузионным массопереносом оксида фосфора в жидкой фазе.

Ключевые слова: оксидный расплав, лимитирующая стадия процесса, кинетическое уравнение, уравнение Аррениуса, кажущаяся энергия активации, диффузия в жидкой фазе, дефосфорация кислых шлаков.

KINETIC ANALYSIS OF DEFOSPHORATION PROCESS OF SYNTHETICAL OXIDE MELTS

I.A. Krasnyanskaya, ingeneer, G.S. Podgorodetsky, PhD, S.N. Paderin, DSc, professor

Annotation: The influence of different factors, such as basicity (CaO/SiO_2) and CO/CO_2 ratio in the barbotage gas, on the distribution of phosphorus between gaseous phase and liquid oxide melt was clarified during the experiments. The calculation of activation energy was carried out. It was obtained empirically as 140 ± 56 kJ/mol, which corresponds with liquid phase diffusion as a limit stage of process.

Key words: oxide melt, limit stage of process, Arrhenius equation, apparent activation energy, liquid phase diffusion, dephosphorization of acid slags.

Анализ поведения фосфора в процессах жидкофазного восстановления позволяет предположить, что, комбинируя окислительные и восстановительные условия, в том числе при разделении шлаковой ванны на плавильную и восстановительную зоны, возможно получение особо чистых по фосфору чугунов. В настоящей работе поставлена цель изучить кинетику дефосфорации оксидного расплава системы $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5$.

Эксперименты проводились в печи Таммана. В качестве исходного материала использовали доменный шлак предприятия ОАО «Тулачермет» с добавлением фосфорного ангидрида, оксида кремния и оксида железа (см. табл. 1). Расплавленный шлак продували в течение 15-20 мин смесью CO+CO₂.

Таблица 1.- Химический состав исходной шихтовой смеси

•	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
• B=0,7							
• Концентрация, % масс	0,29	20,00	26,31	3,90	39,68	3,47	2,29
• Мольная доля,	0,002 9	0,088 4	0,332 2	0,068 9	0,467 7	0,028 5	0,011 4
• B=0,5							
• Концентрация, % масс	0,24	20,00	21,53	3,19	46,59	2,84	2,29
• Мольная доля,	0,002 4	0,088 1	0,271 1	0,056 2	0,547 6	0,023 3	0,011 4
• B=0,3							
• Концентрация, % масс	0,17	20,00	15,12	2,24	55,86	1,99	2,29
• Мольная доля,	0,001 6	0,087 8	0,189 6	0,039 3	0,654 0	0,016 3	0,011 3

Для определения лимитирующей стадии процесса для условий экспериментов оценим кажущуюся энергию активации (см. табл. 2) [1].

Таблица 2.-Экспериментальные данные, используемые в расчете константы скорости и энергии активации процесса

• τ, кс	•		
	• T=1673 К	• T=1723 К	• T=1773 К
• 0,3	• 0,0114	• 0,0102	• 0,0103
• 0,6	• 0,0107	• 0,0096	• 0,0097
• 0,9	• 0,0105	• 0,0089	• 0,0087

Процесс дефосфорации можно описать кинетическим уравнением нулевого порядка [2] по концентрации оксида фосфора:

$$-\frac{dx_{P_2O_5}}{dt} = \alpha' \cdot \frac{S}{V} = \alpha = const, \quad (1)$$

где α' - константа скорости процесса дефосфорации, $\frac{S}{V}$ - относительная реакционная поверхность, м⁻¹.

Величина скорости процесса α для основностей шлаков 0,5 и 0,7 определена по наклону отрезков в координатах $x_{P_2O_5}$ и τ : $\alpha_{1673} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ кс^{-1} ; $\alpha_{1723} = 2,1 \cdot 10^{-3}$ кс^{-1} ; $\alpha_{1773} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ кс^{-1} .

Температурная зависимость константы скорости выражается уравнением Аррениуса:

$$\alpha = A e^{-E/RT}, \quad (2)$$

где A - предэкспоненциальный множитель.

Величина кажущейся энергии активации процесса E определена по наклону отрезка в координатах $\ln \alpha$ и $1/T$ (рис. 2).

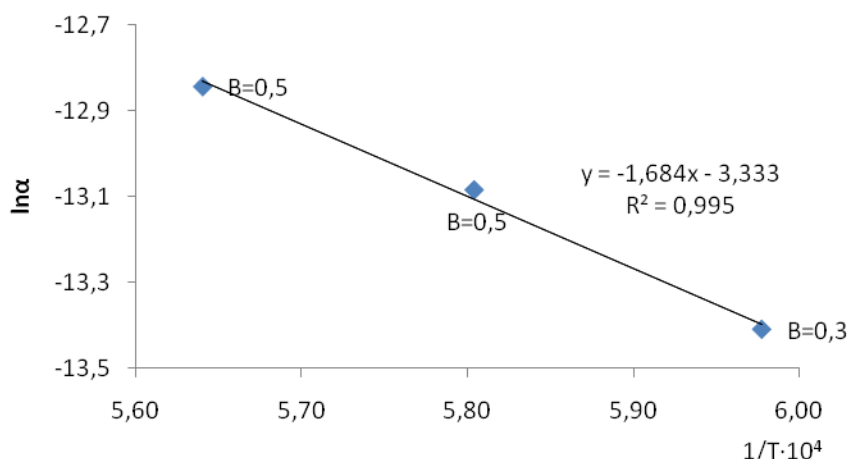


Рис. 2 Зависимость $\ln \alpha$ от $1/T$

Величина кажущейся энергии активации равна $E = R \cdot tg \varphi = 8,314 \cdot 1,684 \cdot 10^4 = 140$ кДж/моль. Систематические ошибки скорости и энергии активации выражаются уравнением:

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \sum \frac{\partial \ln \alpha}{\partial y_i} \cdot \Delta y_i = \frac{\partial \ln(x_0 - x)}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial \ln(\tau - \tau_0)}{\partial \tau} \cdot \Delta \tau, \quad (3)$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{\ln(\frac{\alpha_2}{\alpha_1})} \cdot \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2} + \frac{1}{\ln(\frac{\alpha_1}{\alpha_2})} \cdot \frac{\Delta \alpha_1}{\alpha_1} \quad (4)$$

Для $T_1=1673$ К, $T_2 =1773$ К и $\Delta T = 1$, $\Delta x_{P_2O_5}=0,0001$; $\Delta \tau = 5$ сек $\Delta E = 0,4$ кДж/моль, $\Delta E = 140 \cdot 0,4 = 56$ кДж/моль, $E=140 \pm 56$ кДж/моль.

В литературе [3] приводятся значения энергии активации диффузии фосфора в жидком шлаке, не содержащем оксиды железа, $E_d=195$ кДж/моль. Таким образом, по величине кажущейся энергии активации можно предположить, что процесс лимитируется диффузионным массопереносом оксида фосфора в жидкой фазе.

Список литературы

1. Расчеты металлургических процессов на ЭВМ: Учебное пособие для вузов / Рыжонков Д. И., Падерин С. Н., Серов Г. В. и др. – М.: Металлургия, 1987. – 231 с.

2. Физическая химия. В 2 кн. Кн.2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ: Учеб. для вузов / Краснов К. С., Н. К. Воробьев, И. Н. Годнев и др.; Под ред. К. С. Краснова – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
3. Эллиот Д.Ф., Глейзер М., Рамакришна В. Термохимия сталеплавильных процессов. - Изд-во "Металлургия", 1969 г. 252 с.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВО ВНЕШНЕЙ ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ**

Д.И. Орёлкина, А.Л. Петелин, Ю.С. Юсфин, Г.С. Подгородецкий

Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Москва, Ленинский пр-т, 4. E-mail: iakrasnyanskaya@gmail.com

***Аннотация:** в работе было исследовано распространение в атмосфере газовых выбросов металлургического производства. Были определены основные факторы, влияющие на распространение газовых выбросов на большие расстояния. Предложен общий подход к прогнозированию пространственного распределения газообразных выбросов во внешней зоне влияния металлургических комбинатов. В качестве основы для прогнозирования использован общий принцип анализа, который назван нами принципом максимальной опасности.*

***Ключевые слова:** газовые выбросы, металлургические выбросы, поле концентраций, роза ветров, химическая кинетика*

Введение. В настоящее время, загрязнение окружающей среды является острой проблемой всего человечества. Это связано с тем, что с каждым годом промышленное производство увеличивается, таким образом, количество выбросов, которые являются побочными продуктами технологических процессов, также повышается. Важным вопросом является изучение распространения и взаимодействия этих побочных продуктов, содержащих вредные компоненты.

Для металлургической промышленности проблема распространения газообразных выбросов в атмосфере не менее важна, чем для промышленности в целом. Известно, что количество газообразных выбросов крупного металлургического предприятия в промышленном районе может превышать суммарные выбросы всех других стационарных источников выбросов [1]. Поэтому мы должны уделять самое пристальное внимание анализу распространения металлургических выбросов в атмосферу, с целью прогнозирования их влияния на окружающую среду и население.

Модель. Ниже представлен общий подход, позволяющий обоснованно предсказывать пространственное распределение газовых выбросов от металлургических предприятий на расстояниях в десятки раз превышающих размеры самих предприятий. Будем рассматривать распространение газообразных выбросов от стационарных источников, так как металлургические предприятия имеют непрерывный производственный цикл и стабильную производительность. При стабильной производительности удельный объем выбросов газообразных веществ с течением времени не изменяется, таким образом, в атмосфере, окружающей источник выбросов, формируется устойчивое распределение каждого компонента. Другими словами, образуется пространственное поле концентраций газовых выбросов, которое зависит от географических данных, химической активности компонентов выбросов и др. а поле пространственной концентрации будет сформирована для каждого компонента. Построение стационарных полей концентраций компонентов газовых выбросов по текущим исходным данным и определение их временной динамики под воздействием внешних сил и является основной целью прогноза распространения газовых выбросов. Наиболее важными исходными данными являются данные о количестве выбросов i -ого компонента в единицу времени (мощность выброса m_i) – образующий фактор. Все компоненты газовых выбросов имеют разные исходные данные, следовательно, для полной характеристики распространения газовых выбросов необходимо построить столько полей концентрации, сколько компонентов содержат выбросы

Максимально возможную концентрацию компонента выбросов для стационарного поля концентрации следует определять из баланса факторов роста и падения концентрации во внешней зоне влияния. То есть, концентрация газообразного компонента в каждой точке стационарного поля концентраций будет увеличиваться за счет некоторых факторов (факторов роста) и снижаться из-за других факторов (факторов падения). Факторами роста являются процессы переноса, за счет которых вещество поступает в данную точку от источника выбросов: (1) процессы, определяемые географическими и климатическими особенностями региона (ветровой перенос, перенос, связанный с движением фронта циклона, вихревой перенос (торнадо, смерч) и т.д.); (2) физические процессы, такие как диффузия, которые слабо зависят от быстро меняющихся атмосферных явлений. Факторами падения являются процессы переноса, связанные с удалением компонента из заданной точки (например, воздушные потоки в различных направлениях в зависимости от атмосферных условий и процессы диффузии, стремящиеся к выравниванию концентрации компонента за счет сокращения избыточных концентраций). Еще одним важным фактором падения является химическая активность компонента в атмосфере - то есть, его способность вступать

в реакцию с другими компонентами воздуха (химический фактор). Таким образом, любая химическая реакция, которая включает молекулы компонента газообразных выбросов, позволит снизить его концентрацию. Компонент может участвовать одновременно в нескольких химических процессах, к которым кроме химических реакций следует причислить также адсорбцию молекул компонента поверхностью пылевых частиц с последующим оседанием их на поверхность земли, растворение в атмосферных осадках и водоемах, поглощение (сорбция) компонента почвой, пористыми породами, растительным покровом (деревья, трава). Общая скорость всех химических процессов снижения концентрации компонента может быть выражена в виде эффективной константы скорости разложения (распада) i -го компонента в атмосфере k_i .

Таким образом, каждый компонент выбросов имеет свою специфическую картину пространственного распространения – свое поле концентраций, - которое зависит от его химической активности в природной среде (k_i) и от скорости его поступления в атмосферу (мощности выброса m_i).

Рассмотрим теперь общие характеристики полей концентрации, независимо от того, распределение какого компонента выбросов они описывают. Обозначим всю территорию, окружающую предприятие, в воздухе которой концентрация компонентов выбросов превышает фоновые атмосферные значения, зоной влияния предприятия. Для металлургического предприятия, зона влияния может быть разделена на две части::

внутренняя зона влияния, территория самого предприятия и прилегающие районы в его непосредственной близости, где проживают люди, работающие на предприятии, находятся смежные производственные подразделения, транспортные узлы и другие службы, необходимые для бесперебойной работы металлургического комплекса;

внешняя зона влияния, распространяющаяся на расстояние нескольких сотен километров от металлургического предприятия, где атмосферный воздух может испытывать воздействие газовых выбросов металлургии, а значит, в какой-то степени изменять свой состав.

Для первого случая (внутренней зоны влияния) существуют несколько теоретических моделей, которые легли в основу практических систем. Они позволяют рассчитывать концентрации компонентов выбросов в воздухе по заданным исходным данным в любой заданной точке внутренней зоны (что означает, получать поле концентраций компонентов выбросов для внутренней зоны влияния). В нашей стране наибольшее распространение получила расчетная система ОНД-86 [2]. Для малых расстояний от места выброса распределение концентраций выброшенных веществ в расчетной схеме связывается с мощностью выбросов, инфраструктурой предприятия и внешними атмосферными условиями. Рельеф земной поверхности, наличие зданий и продуваемых открытых

коридоров, перепады температур внутри и снаружи цехов, скорость ветра и т.д. все это приводит к неоднородности распределения компонентов газовых выбросов. Учесть большое количество таких частных факторов можно с использованием эмпирических поправок, что и делается при анализе концентраций расчетной системой ОНД-86. В результате эта система надежно предсказывает поле концентраций выбросов во внутренней зоне влияния. С помощью ОНД-86 можно рассчитать максимальную концентрацию выбросов при средней скорости ветра в соответствии с розой ветров и температурными данными для данного региона, а также с использованием дополнительных подгоночных параметров. В европейских странах, США, Канаде и Японии также существуют аналогичные системы расчета концентраций газовых выбросов в воздухе вблизи промышленных предприятий – например, Гауссова модель [3]. Все эти методики (в том числе и ОНД-86) нельзя использовать для сценарных и прогнозных расчетов при конкретных метеоусловиях и они не годятся для расчета концентраций на дальних расстояниях – более нескольких десятков километров (внешняя зона влияния).

Во внешней зоне влияния, многофакторный анализ, аналогичный используемому в системе ОНД-86, теряет смысл. Во-первых, значительные перепады концентрации вблизи местных преград, геометрических неровностей подстилающей поверхности и т.д. с масштабами размеров в несколько десятков метров на больших расстояниях от источников выбросов (десятки, сотни км) в силу большого количества случайных причин нивелируются, сглаживаются. Соответственно, поле концентраций во внешней зоне влияния должно быть локально более однородным, чем во внутренней зоне влияния. Во-вторых, область распространения (общая площадь поля концентрации) резко возрастает с увеличением расстояния от источника. Кроме того, численный расчет значительно усложняется с учетом большого количества варьируемых подгоночных параметров. Это особенно проблематично, если требуется полная картина распространения выбросов по всем направлениям от источника. Здесь проявляется еще одно универсальное свойство концентрационных полей для компонентов выбросов - отсутствие пространственной радиальной поворотной симметрии относительно точки выброса. Значения концентрации для одного и того же компонента в точках, расположенных на одинаковых расстояниях от точки выброса (начальной точки), но на разных радиус-векторах могут значительно отличаться. Такая пространственная анизотропия является следствием наличия розы ветров.

Концентрация любого компонента выбросов зависит от постоянно изменяющихся атмосферных факторов. Это значит, что значение концентрации в каждой точке поля концентраций испытывает постоянные флуктуации, амплитуда которых зависит от пространственных координат и от времени. Поэтому расчетным путем принципиально

нельзя получить окончательного точного значения концентрации во всей внешней зоне влияния. Получение среднего значения в течение некоторого времени также не дает полной информации о возможной опасности, т.к. какое-то время концентрация может превышать среднюю, а значит и опасность для человека может быть более высокой, чем та, которая соответствует среднему значению концентрации.

В этом контексте, мы принимаем принцип максимальной опасности в качестве основы для прогнозирования распространения газообразных выбросов во внешней зоне влияния металлургического предприятия [4]. Согласно этому принципу, общий анализ риска повышения концентраций токсичных газообразных выбросов должен включать в себя оценку верхней границы возможных концентраций. Таким образом, для прогнозирования безопасности необходимо вычислить максимально возможную концентрацию, без учета всех факторов, локально снижающих концентрацию, и определить вероятность реализации этой максимальной концентрации для заданных координат и времени. Другими словами, поле концентрации внешней зоны влияния должно характеризоваться по крайней мере двумя параметрами в каждой точке: максимальной концентрацией и вероятностью ее появления (в определенное время и на определенный период).

Итак, максимально возможную концентрацию компонентов выбросов в стационарном поле концентраций можно определить из баланса факторов роста и падения во внешней зоне влияния металлургического предприятия. Основным фактором роста, который отвечает за распространение газообразных веществ в атмосфере, является процесс ветрового переноса.

Химический фактор является основным фактором падения концентрации. Он не подвержен влиянию природных процессов и определяется лишь только самим компонентом, распространение которого в атмосферной среде необходимо проанализировать. Поэтому избежать использования химического фактора даже при определении максимально возможной концентрации компонента выброса не удастся. Остальные факторы падения концентрации – восходящие потоки воздуха, местные воздушные течения, конвективные процессы и т.д. - являются природно-обусловленными факторами и проявляются локально. Эти явления носят случайный характер, они могут присутствовать на пути распространения компонентов выбросов и снижать концентрации компонентов, но могут и отсутствовать. Учет их при расчете максимальной концентрации компонентов выбросов не требуется.

Принимая во внимание наши основные предположения и принцип максимальной опасности, мы можем сформулировать простую математическую модель и на ее основе получить общую картину стационарного поля концентраций для любого компонента выбросов конкретного металлургического предприятия за любой указанный временной интервал. Для случая

стационарного распространения химически активного компонента i под действием ветра в j -ом географическом направлении его концентрация c_{ij} определяется уравнением:

$$w_j \frac{dc_{ij}}{dr} + k_i c_{ij} = 0$$

где r – расстояние от источника выбросов вдоль географического направления j . Решение уравнения имеет следующий вид:

$$c_{ij}(r) = c_{i0} \cdot e^{-\frac{k_i \cdot r}{w_j}}$$

Данное решение содержит две части. Первая – c_{i0} – является средней максимальной концентрацией i -го компонента, которая реализуется при ветровом пространственном переносе данного компонента вдоль j -го направления со скоростью ветра w_j :

$$c_{i0} = \frac{m_i}{w_j S_j}$$

где m_i – мощность выброса i -го компонента, $S_j = d_j h$ – площадь, через которую происходит вынос данного компонента, d_j – поперечник предприятия, перпендикулярный направлению j , h – высота слоя, в котором происходит вынос газовых выбросов, обычно высоту слоя считают равной высоте дымовых труб предприятия.

Вторая часть решения $e^{-\frac{k_i \cdot r}{w_j}}$ представляет собой коэффициент снижения концентрации компонента с расстоянием от источника вследствие его химической активности.

Для получения математического образа поля концентрации заданного компонента в географических координатах кроме мощности его выброса – m_i – и его химической активности в воздушной среде – k_i – необходимо знание розы ветров региона расположения металлургического предприятия. Это позволит определить зависимость максимальной концентрации компонента от расстояния (удаленности от источника выброса) по восьми географическим направлениям, восьми румбам розы ветров. Получение полной информации по распределению каждого компонента с помощью розы ветров позволяет совместить поля максимально возможных (максимально опасных) концентраций каждого компонента с географической картой местности расположения конкретного предприятия (с нанесением на карту изоконцентрационных линий).

Каждому географическому региону соответствуют индивидуальные розы ветров, характеризующие ветровые характеристики для различных циклически повторяющихся периодов времени – среднегодовые розы ветров, сезонные розы ветров, помесечные розы ветров. Соответственно для каждого из этих временных периодов (для каждого компонента выбросов) может быть получено поле (пространственное распределение) максимально возможных концентраций, совмещенное с географической картой местности расположения

металлургического комплекса (предприятия) – т.е. прогнозная карта для данного вещества на данный период времени.

Кроме средних скоростей ветра по каждому из восьми направлений, роза ветров так же характеризуется η_j - долей времени (в %), в течение которого ветер дует в направлении данного румба. Этот параметр имеет смысл вероятности или длительности сохранения максимального значения концентрации в течение периода времени, соответствующего розе ветров.

Таким образом, использование исходных данных, а именно: мощности выброса, химической активности компонента, геометрических размеров предприятия и розы ветров на местности расположения предприятия для определенного периода времени, - позволяет посредством принципа максимальной опасности получить карту-схему поля концентрации во внешней зоне влияния, сделать прогноз максимальной концентрации и вероятности ее достижения в любой географической точке на всех восьми лучах направлений света.

Результаты. Следующий пример демонстрирует предложенный подход распространения выбросов NO_2 в регионе ОАО «Тулачермет», который охватывает несколько сотен километров в окрестностях Тулы. На рисунке 1 показана карта-схема распространения концентраций с учетом ветровой и химической нагрузки в центральном регионе России для 2х сезонов. Для этого дополнительно использованы сезонные розы ветров Тульского региона [5]. Изоконцентрационные линии на картах ограничивают территории, где концентрация NO_2 может в течение указанных сезонов превышать ПДК и 2ПДК [6]. Вероятность достижения концентраций данных уровней дается факторами повторяемости - η_j – для каждого (j - го) румба соответствующей розы ветров.

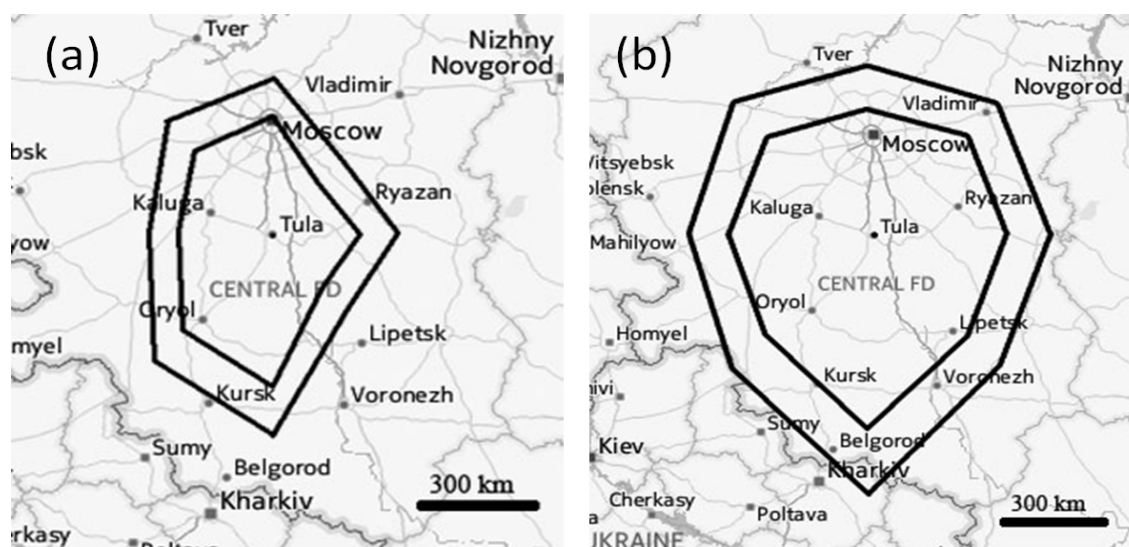


Рисунок 1 - Распределение концентрации NO_2 по восьми направлениям ветра для ОАО «Тулачермет»: (а) лето; (б) зима.

Таким образом, посредством карт-схем получен прогноз степени опасности от воздействия NO₂ для разных времен года. Следует отметить, что возможность появления опасных уровней концентрации NO₂ имеется даже в Москве и Московской области. Кроме того, наши результаты показывают, что территории, наиболее подверженные влиянию выбросов ОАО «Тулачермет» меняются от сезона к сезону. Это также важно при принятии реальных мер по защите населения этих территорий от опасного влияния NO₂.

Описанный подход к анализу распространения газовых выбросов и прогнозированию опасных ситуаций вблизи промышленных центров можно использовать для описания влияния нестационарных явлений в атмосфере – прохождения атмосферных фронтов, возникновения вихрей и др. турбулентных явлений – на концентрационное поле газовых выбросов. Однако эти задачи требуют отдельного рассмотрения.

Список литературы

1. K.V.Vishnyakova, A.L.Petelin, Yu.S.Yusphin. Diffusion Spreading of the Emitted Metallurgical Gas. Defect and Diffusion Forum, Vol.309-310, 2011, pp. 239-242.
2. ОНД – 86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
3. А.В. Завгороднев, Г.С. Аكوпова, А.В. Мельников. Теоретические основы рассеивания в атмосфере организованных нестационарных выбросов газа на объектах газотранспортных предприятий. Экология. Ресурсосбережение. № 10. 2011, с.68-73.
4. Группа компаний Новолипецкого Metallургического Комбината [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://nlmk.com/ru> (дата обращения: 01.03.2012).
5. Исидоров В.А. Экологическая химия: Учебное пособие для вузов. – СПб: «Химиздат», 2001. – 304 с.
6. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс] // отв. исп. О.Н. Булыгина; ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД". Обнинск. 2011. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClspR> (дата обращения: 25.01.2012)

УДК 669.018.8

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОГО (ТРУБЧАТОГО)
ЭЛЕКТРОДА НА ХАРАКТЕР ГОРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ДУГОВОЙ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

А.А. Кожухов доц., к.т.н., **А.С. Ткачев** инженер,

Е.Н.Мельников аспирант, **М.А. Гурьянов** аспирант

Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова (филиал)

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

Россия, г.Старый Оскол

koshuhov@yandex.ru, 8 (4725) 45-12-00

***Аннотация:** представлены результаты экспериментов по изучению режима горения электрической дуги от сплошных и полых электродов.*

***Ключевые слова:** электрическая дуга, полый электрод, сплошной электрод*

**EXPERIMENTAL STUDYING OF INFLUENCE OF THE HOLLOW (TUBULAR)
ELECTRODE ON NATURE OF BURNING OF THE ELECTRIC ARCH IN THE ARC
STEEL-SMELTING FURNACE**

A.A. Kozhukhov Cand.Tech.Sci., **A.S. Tkachyov** engineer,

E.N.Melnikov graduate student, **M. A. Guryanov** graduate student

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»

Russia, Sary Oskol

***Abstract:** results of experiments on studying of the mode of burning of an electric arch from continuous and hollow electrodes are presented.*

***Keywords:** electric arch, hollow electrode, continuous electrode*

В настоящее время одной, из актуальных задач стоящей перед отечественной металлургией является снижение энергетических затрат на производство стали. На основе анализа научно-технической литературы [1,2] установлено, что одним из перспективных направлений снижения энергоемкости выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) является применение полых (трубчатых) электродов.

Первые исследования в данном направлении были выполнены в начале 20 века, большинство из них были направлены на решение вопросов связанных со стабилизацией режима горения электрических дуг и повышения эффективности электрического режима

ДСП. Однако в научной литературе нет точных данных о влиянии электродов данной конструкции на режим горения электрической дуги. В связи с этим на электропечной установке, представленной на рис.1, были выполнены исследования, по изучению режима горения электрической дуги при использовании полого (трубчатого) электрода. В ходе проведения исследований на электропечной установке (рис.1) использовались графитированные электроды двух типов: сплошные и полые (трубчатые). Наружный диаметр электродов составил $D_{эл}=35$ мм. Диаметр отверстий в полом (трубчатом) электроде варьировался в соотношении $d_{отв}/D_{эл}$ от 0,05 до 0,5. Электропитание установки осуществлялось от трансформатора представляющего собой два соединенных последовательно выпрямителя с номинальной мощностью $P=23,7$ кВт. Для более устойчивого горения электрической дуги горячей между графитовым и подовым электродом и создания условий, близких к реальным, в дуговых сталеплавильных печах на подовый электрод подкладывалась металлическая заготовка для образования жидкого металла.

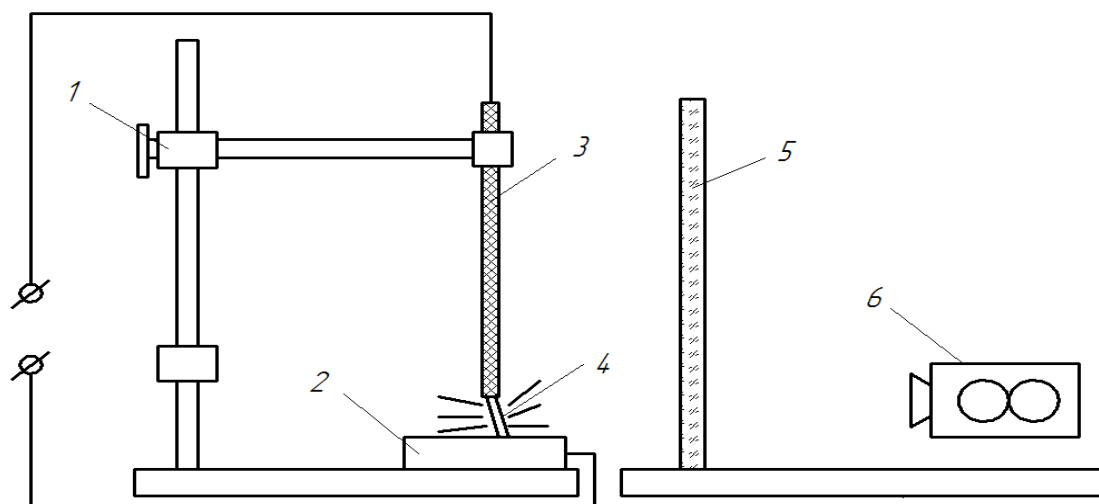


Рис.1. Схема экспериментальной лабораторной установки для изучения угла отклонения электрической дуги: 1 – механизм перемещения электрода; 2 – графитовая пластина; 3 – графитированный электрод; 4 – электрическая дуга; 5 – защитный экран; 6 – видео камера.

В ходе эксперимента велась видео съемка через защитный экран. Результаты видео съемки были подвергались цифровой обработке с помощью программы Blitz 3d. Суть обработки заключалась в разбиении полученного в ходе эксперимента видео на кадры с последующим переводом кадров из цветного спектра в серый. Затем каждый кадр подвергался оценке каждого пикселя по яркости (пиксели с высокой яркостью оценивались как электрическая дуга, с низкой - как свободное пространство). Анализ полученного в ходе эксперимента видео (рис.2) позволил установить, что величина угла отклонения электрической дуги от оси электрода определяется соотношением $d_{отв}/D_{эл}$.

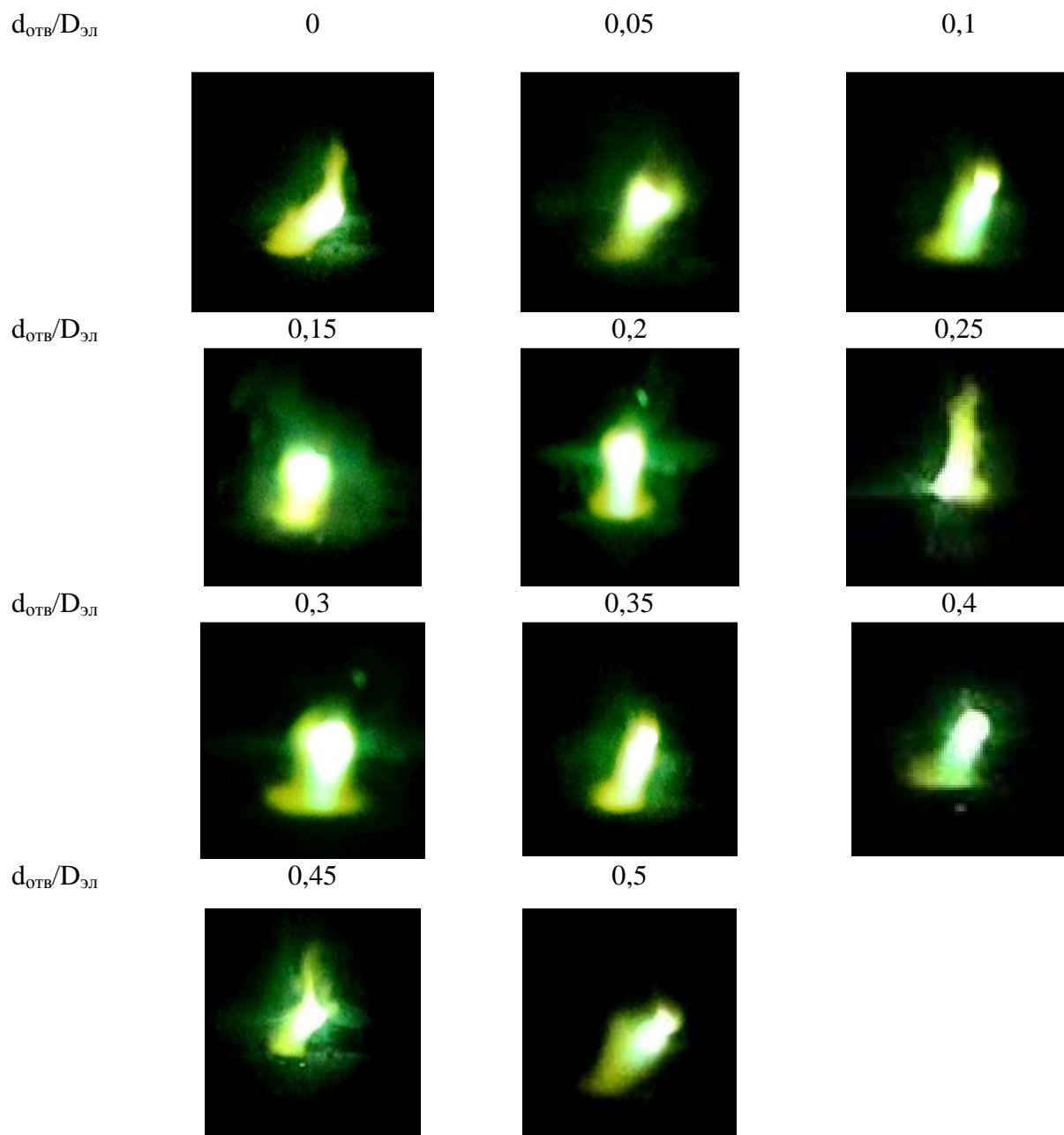


Рис. 2 Фотографии электрической дуги при различном отношении $d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}}$

В результате обработки полученных в ходе эксперимента данных была построена зависимость угла отклонения электрической дуги от соотношения $d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}}$ представленная на рис.3. Анализ рис.3 показывает, что наименьший угол отклонения электрической дуги достигается при $d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}} = 0,2$. По результатам статистической обработки полученных данных была получена регрессионная зависимость позволяющая оценить влияние диаметра отверстия в электроде на величину угла отклонения электрической дуги:

$$\alpha = 502,6 \left(\frac{d_{\text{отв}}}{D_{\text{эл}}} \right)^2 - 258,3 \left(\frac{d_{\text{отв}}}{D_{\text{эл}}} \right) + 42,56, R^2=0,951 \quad (1)$$

Выводы. Выполнены лабораторные исследования по изучению влияния полого (трубчатого) электрода на режим горения электрических дуг. В ходе исследований установлено, что наименьший угол отклонения электрической дуги от оси электрода достигается при отношении $d_{отв}/D_{эл}=0,2$. Получено регрессионное уравнение позволяющее оценить угол отклонения электрической дуги в зависимости от диаметра отверстия в полом (трубчатом) электроде.

Список литературы

1. Егоров А.Е., Никольский Л.Е, Огороков Н.В. О применении трубчатых электродов в дуговых электрических печах. // Электротермия, 1962, №9. с. 27-31.
2. Огороков Н.В., Никольский Л.Е., Егоров А.В. Эффективность работы дуговой печи на трубчатых электродах. //Электротермия, 1962, №9. с. 13-18.

УДК 628.16

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛМАССИВА ГОРОДА СТАРЫЙ ОСКОЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л.П. Петрова к.т.н., доцент (e-mail:pviplp@yandex.ru, тел. 89803292768),

Л.Н. Королькова к.т.н., доцент, (e-mail: klncayka@mail.ru, тел. 89155692604)

Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО

«Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

Россия, г. Старый Оскол

Аннотация: представлен вариант очистки загрязненной воды на котельной жилмассива с применением технологии обратного осмоса.

Ключевые слова: очистка воды; обратный осмос.

IMPROVEMENT OF THE WATER TREATMENT SYSTEM IN THE CONDITIONS OF THE BOILER ROOM AREA OF STARY OSKOL USING MEMBRANE TECHNOLOGY

L.P. Petrova Ph.D. Associate Professor. (e-mail:pviplp@yandex.ru, тел. 89803292768),

L.N. Korolkova Ph.D. Associate Professor. (e-mail: klncayka@mail.ru, тел. 89155692604)

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) Federal state Autonomous educational institution of higher professional education "national research Institute of technology

"MISIS" Russia, Sary Oskol

Abstract: *presents an option to clean up contaminated water in the boiler house area with the use of reverse osmosis technology.*

Keywords: *water treatment; reverse osmosis.*

Котельная жилмассива построена в 1977 году для отопления жилого массива города. Теоретически использование воды должно носить циклический характер, однако, в связи со значительными потерями теплоносителя, обеспечить такие условия эксплуатации энергетического оборудования не удастся. Постоянная потребность котельной в воде обусловлена наличием технологических потерь воды и пара, невозможностью полной регенерации всех видов теплоносителя, в том числе промышленных стоков, наличием безвозвратных расходов пара и горячей воды. Таким образом, котлы являются постоянными потребителями значительного количества воды. [1]

Оборудование котельной жилмассива эксплуатируется при высоких тепловых нагрузках, что требует жесткого ограничения наличия отложений на поверхностях нагрева по условиям поддержания температурного режима их металла при эксплуатации оборудования. Такие отложения образуются из примесей, поступающих в пароводяной тракт котлов, в том числе с добавочной водой, поэтому обеспечение высокого качества водных теплоносителей является важной задачей. Решение этой задачи позволяет вырабатывать более чистый пар и способствует снижению скорости коррозии конструктивных материалов котлов и оборудования конденсатно-питательного тракта. Качество обработки воды на котельной тесным образом связано с надежностью и экономичностью эксплуатации теплоэнергетических установок.

Для удовлетворения технологических требований, предъявляемых к качеству воды возникает необходимость в специальной физико-химической обработке воды. Обработка воды осуществляется на специальных водоподготовительных установках (ВПУ). С помощью установок водоподготовки поддерживается определенный водно-химический режим работы оборудования котельной и тепловых сетей. Работа ВПУ и водно-химический режим позволяют обеспечить эксплуатацию котлов без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей водоподготовительного сетевого оборудования, а также обусловленных образованием отложений на теплопередающих поверхностях котлов и теплообменников. Нарушения водно-химического режима всегда приводят к ухудшению эксплуатационных и экономических показателей энергетических установок и ведут к перерасходу топлива, выходу из строя оборудования и т. д.

Используемые традиционные технологии водоподготовки, применяемые на котельной, обеспечивают необходимый уровень очистки природных вод и доведение их качества до

требований ПТЭ. Однако имеются технологии позволяющие получать воду лучшего качества, дешевле и с меньшими затратами труда. [2]

Котельная жилмассива рассчитана на выработку 500 Гкал/ч, на ней установлено пять водогрейных котлов КВГМ-100 и два паровых котла ГМ-50/14. Котельная предназначена для выработки отопительным котлом пара с необходимыми параметрами качества, который используется технологическими потребителями, а также для выработки горячей воды для обеспечения систем отопления, вентиляции, кондиционирования и горячего водоснабжения жилых домов и частных предприятий.

Существующая система водоподготовки в целом обеспечивает необходимое качество воды, но существуют новые технологии в этой области, которые позволят получать воду лучшего качества по более низкой цене. Также, благодаря использованию этих технологии, есть возможность снизить сбросы воды в водоемы и провести полную автоматизацию производства теплоносителя, тем самым снизив затраты труда.

Одной из таких технологий является технология обратного осмоса. Для доказательства выгоды применения этой технологий в условиях котельной жилмассива были проведены расчеты и выработаны рекомендации.

В настоящий момент на котельной установлен фильтр ФИПа-1-3,0-0,6. Принцип его действия заключается в том, что вода под давлением 0,6 МПа поступает на обработку и проходит через слой зернистого ионообменного материала. При этом катионит поглощает из воды ионы накипеобразователей Ca^{2+} и Mg^{2+} и заменяет их эквивалентным количеством ионов Na^+ . Цикл работы состоит из четырех этапов: умягчение, взрыхление, регенерация и отмывка.

Эффект регенерации катионита при выбранном расходе реагента повышается с увеличением продолжительности контакта раствора соли с катионитом, поэтому скорость пропуска регенерационного раствора ограничивают пределами 4–6 м/ч при высоте слоя катионита 1,5–2,0 м. Скорость ниже 4,0 м/ч не используется по гидродинамическим условиям работы фильтра.

Полная замена существующей системы водоподготовки потребует много затрат, так как придется менять насосы, устанавливать систему ультрафильтрации. Рекомендовано на котельной жилмассива использовать установку обратного осмоса в сочетании с используемыми сейчас ионными фильтрами.

Обратный осмос – процесс, в котором с помощью давления принуждают растворитель (воду) проходить через полупроницаемую мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор, то есть в обратном для осмоса направлении. При этом

мембрана пропускает растворитель, но не пропускает некоторые растворённые в нём вещества. Схема процесса обратного осмоса представлена на рисунке 1.

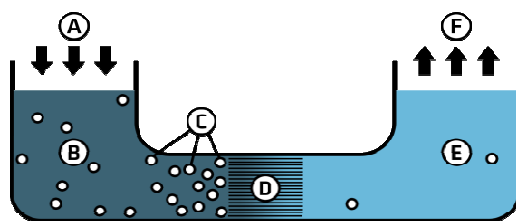


Рис. 1. Схема процесса обратного осмоса:

A – прилагаемое давление; B – загрязненная вода; C – загрязнитель;

D – полупроницаемые мембраны; E – очищенная вода; F – выдача потребителю.

Было решено использовать установку обратного осмоса с производительностью 20 м³ в день. Был выбран тип мембран, подходящий для условий котельной жилмассива. Технологические характеристики мембран представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики мембраны.

Модель мембраны	Диаметр, мм	Длина, мм	Селективность, %	Активная площадь поверхности, м ²	Рабочий диапазон pH
BW30 4040	99	1065	99.5	7,2	2-11

Гидродинамическое сопротивление мембран равно 1,5 МПа. По расходу и необходимому давлению был выбран насос, максимальное рабочее давление которого принято – 2,5 МПа, номинальный расход воды – 20 м³/ч, мощность – 1,1 кВт. Номинальная производительность мембраны – 8,1 м³/д. Для удовлетворения нужд котельной будет достаточно трех таких мембран.

Список литературы

1. Баскаков, А.П. Качество воды в системах отопления и горячего водоснабжения / А.П. Баскаков, Я.М. Щелоков. – Екатеринбург: Изд-во Уральск, гос. тех. ун-та, 2002. – 36 с.
2. Копылов А.С. и др. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программированные расчеты. Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 224 с.

УДК 669.187.28

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

О.И. Малахова к.т.н., доцент, **В.В. Федина** к.т.н., доцент (e-mail: mt_kaf@mail.ru)

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»»

Россия, г. Старый Оскол

***Аннотация:** Приведены результаты исследования воздействия различных факторов на состав и толщину вспененного шлака в высокомошной ДСП. Показано влияние на удельный расход электроэнергии массы, толщины и основности шлака, а также влияние на толщину вспененного шлака его основности и окисленности.*

***Ключевые слова:** шлак, шлаковый режим, ДСП, пенообразование.*

ACTUAL PROBLEMS OF IMPROVEMENT SLAG MODE IN ELECTRIC ARC FURNACES

O.I. Malakhova, PhD, Associate Professor, **V.V. Fedina** PhD, Associate Professor.

(e-mail: mt_kaf@mail.ru)

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) Federal state Autonomous educational institution of higher professional education "national research Institute of technology

"MISIS" Russia, Sary Oskol

***Abstract:** Results of research of influence of various factors on structure and thickness of the made foam slag are given in high-power EAF. Influence on a specific expense of the electric power of weight, thickness and basicity of slag, and also influence on thickness of the made foam slag of basicity and oxidation level is shown.*

***Keywords:** slag, slag mode, EAF, foaming.*

Непрерывный рост доли выплавляемой электростали, сопровождающийся изменением конструкций печей, состава применяемых шихтовых материалов (металлизированных окатышей и брикетов, жидкого чугуна), увеличением доли альтернативных источников тепла, в первую очередь за счёт применения топливо-кислородных горелок, вызывает необходимость продолжать исследование влияния различных параметров на выплавку стали в дуговой сталеплавильной печи.

Совершенствование шлакового режима порождает неизменный интерес отечественных и зарубежных исследователей [1-5]. Основность и окисленность шлака, его вязкость, поверхностное и межфазное натяжение, количество шлака оказывают непосредственное влияние на процессы рафинирования металла в сталеплавильной печи. Способность шлака к пенообразованию и его толщина влияют на распределение тепловых потоков в рабочем пространстве ДСП, что оказывает воздействие на усвоение тепла ванны и удельный расход электроэнергии, а также на стойкость футеровки. Достижение необходимого шлакового режима возможно одновременным изменением количества и состава шлака, а значит его физико-химических свойств. Таким образом, оптимальный шлаковый режим позволяет улучшить качество стали и технико-экономические показатели производства.

Однако, для каждого типа процесса и условий его реализации необходимо определить оптимальное количество шлака, его основность и др. свойства. Увеличение доли шлака благотворно сказывается на дефосфорации и десульфурации металла, на снижении потока азота из атмосферы. В то же время увеличение количества шлака может привести к повышению концентрации водорода в металле за счёт влаги извести [5], увеличению потерь железа и полезных примесей и более сильному разрушению футеровки.

Важнейшей характеристикой шлака является его окисленность. В настоящее время отсутствует полная ясность и единство мнений в вопросе расчёта окислительной способности шлака. Наиболее достоверные результаты получаются при расчёте (или измерении) активности FeO в шлаке – a_{FeO} и при расчёте по формуле

$$R_{(\text{FeO})} = (\text{FeO}) - k(\text{Fe}_2\text{O}_3), \quad (1)$$

использовать же при описании и исследовании критерий $\text{Fe}_{\text{общ}}$ (железо общее) не рекомендуется [3].

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния толщины, количества и основности шлака на удельный расход электроэнергии, а также зависимость содержания железа общего в шлаке от его основности. Исследование проводили на высокомошной дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 150 т, оборудованной тремя топливо-кислородными горелками с долей металлизированных окатышей в шихте около 70%.

Все параметры брали по факту из паспортов плавки (выборка за последние несколько лет для среднеуглеродистой стали), измерение толщины шлака проводилось погружной штангой. Массу шлака определяли по формуле [5]:

$$m_{\text{шл}} = m_{\text{изв}} \frac{(\text{CaO})_{\text{изв}}}{(\text{CaO})}, \quad (2)$$

Толщина вспененного шлака изменяется в процессе электроплавки [2], контроль и управление процессом пенообразования сталеплавильных шлаков, непрерывное измерение толщины шлака затруднены в силу недостаточной изученности этого процесса. Но положительное влияние на тепловую работу печи экранирования электрической дуги вспененным шлаком несомненно, что подтверждается уменьшением удельного расхода электроэнергии при увеличении толщины вспененного шлака (рис. 1).

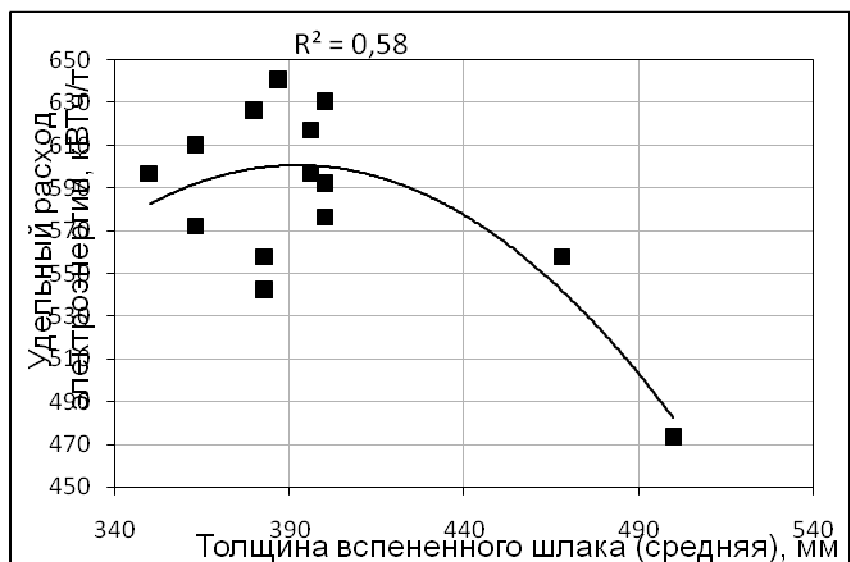


Рис. 1. Зависимость удельного расхода электроэнергии от средней за плавку толщины вспененного шлака

Результаты, представленные на рис. 2 и рис. 3 говорят о наличии оптимальных значений массы и основности шлака, соответствующих минимальному значению удельного расхода электроэнергии. Для группы сталей с одинаковыми требованиями по наименьшему содержанию вредных примесей (серы, фосфора и т.п.) и тем же подходом к рафинированию (при постоянном составе металлошихты), различия в расходе электроэнергии существенны.

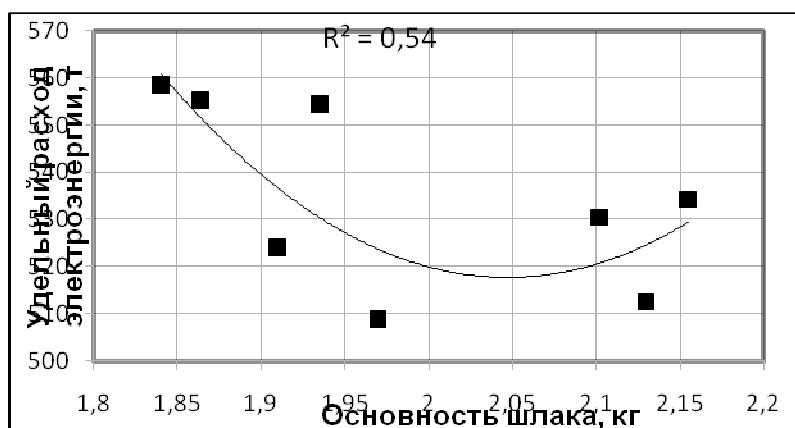


Рис. 2. Зависимость удельного расхода электроэнергии от основности шлака

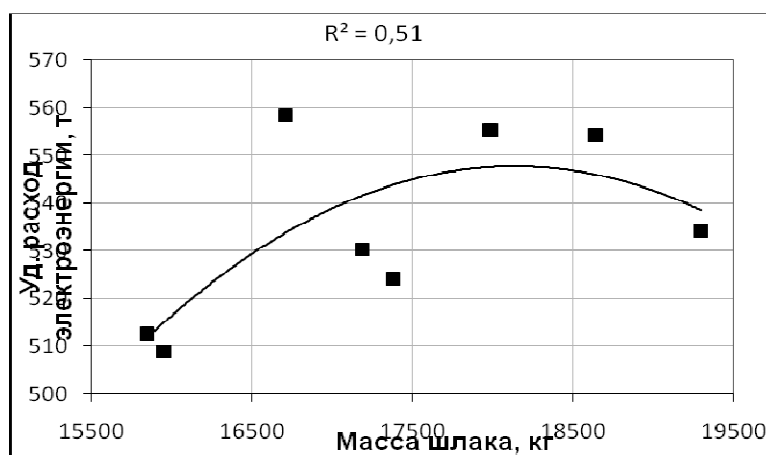


Рис. 3. Зависимость удельного расхода электроэнергии от массы шлага

Анализ данных показал влияние на количество шлага массы используемой металлошихты (что очевидно) и её состава. Увеличение доли металлизированных окатышей приводит к увеличению массы шлага.

Наблюдается слабая зависимость содержания железа общего в шлаке от его основности (рис. 4). Сравнение аналогичных данных за 2000-2002 год говорит об увеличении содержания железа общего в шлаке, что связано с изменениями в технологическом процессе при выплавке стали.

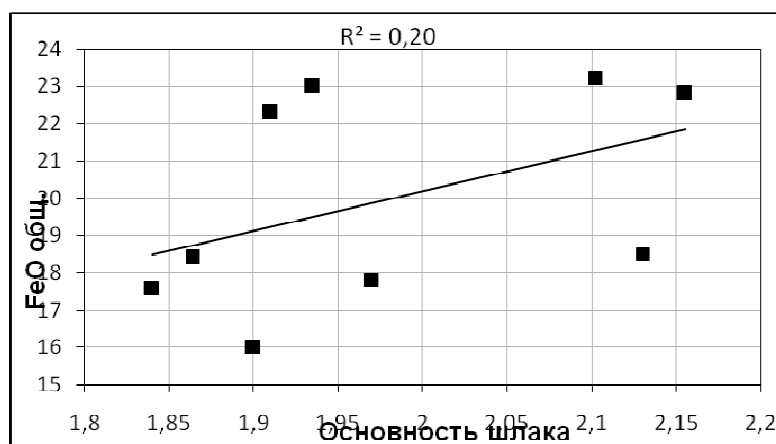


Рис. 4. Зависимость содержания железа общего в шлаке от его основности

Установлено, что в современной технологии электроплавки рабочая область общей окисленности ванны не соответствует рациональной [4]. Таким образом, требуются дальнейшие исследования окисленности шлаковой ванны для учёта её влияния на вспенивание шлага. Приближённая оценка окислительной способности шлага по содержанию $Fe_{общ}$ для данных целей малоинформативна.

Заключение: Актуальные проблемы совершенствования шлакового режима - определение состава, количества, толщины вспененного шлага в ДСП для различных условий электроплавки. Показано наличие оптимального шлакового режима при выплавке среднеуглеродистых сталей в высокомоощных ДСП с высокой долей металлизированных

окатышей в шихте. Для обеспечения расхода электроэнергии 500 кВт·ч/т толщина шлака должна быть 500 мм, а его основность лежать в пределах 1,95 – 2.

Список литературы

1. Кожухов, А.А. Исследование процесса вспенивания сталеплавильного шлака и его влияния на тепловую работу дуговой сталеплавильной печи /Кожухов А.А., Федина В.В., Меркер Э.Э. //Металлург. -2012. -№3. -С.42-44.
2. Федина, В.В. Исследование факторов вспененного шлака на показатели электроплавки металлизированных окатышей в ванне дуговой печи /Федина В.В., Малахова О.И., Сазонов А.В. //Современные наукоемкие технологии. -2005. -№2. -С. 71-72.
3. Кудрин ,В. А.Теория и технология производства стали: Учебник для вузов/В.А. Кудрин — М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003.— 528с., ил.
4. Бигеев, В.А. Окисленность шлака современной дуговой сталеплавильной электропечи/ Бигеев В.А., Малофеев А.Е., Пантелеев А.В., Федянин А.Н., Брусникова А.В.//Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. -2010. -№34 (210). - С. 4-7.
5. Кузнецов, М.С. Влияние массы металлошихты и толщины шлака на технологию выплавки стали в дуговой печи/Кузнецов М.С., Якушев Е.В., Кулагин С.А., Котельников Г.И., Семин А.Е., Косырев К.Л., Кулиш Р.С.//Электрoметаллургия. – 2010. - №2. –с. 2-6

УДК 669-1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ НАГРЕВЕ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

С.С. Пашнин, аспирант, **Э.Э. Меркер**, д.т.н. проф.

СТИ НИТУ «Московский институт стали и сплавов», г. Старый Оскол

Аннотация: проанализирован процесс нагрева литых заготовок с целью улучшения качества металлопродукции.

Ключевые слова: сталь, производство проката, качество изделий, печи нагрева

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PROCESS CONDITIONS DURING HEATING CONTINUOUSLY-CAST BILLETS IN REHEATING FURNACE

Pashnin S.S., Graduate student, **E.E. Merker**, DSc, professor.

STI NUST "Moscow Institute of Steel and Alloys", StaryOskol

Abstract: *We analyze the process of heating the casting blocks to improve the quality of steel.*

Keywords: *steel, rolled metal production, product quality, furnace heating*

Основным направлением развития металлургии, характерным для всего мирового сообщества является увеличение конкурентоспособности металлопродукции на внутреннем и внешнем рынках. Одним из перспективных направлений повышения качества стальной продукции и снижения её себестоимости является производство проката из непрерывнолитого металла [1].

В условиях ОАО «ОЭМК» в СПЦ-1 проанализировали процесс нагрева непрерывнолитых заготовок с поперечным сечением 300 x 360 мм перед прокаткой на стане 700 в методических печах с шагающими балками. Средняя производительность каждой печи нагрева составляет 150 т/ч.

Нагрев заготовок осуществляется с использованием автоматизированной системы «Микро - зет» по установкам рассчитанным ЭВМ управления печами PR–O [2].

Для обеспечения качественного нагрева пространство печи по управлению тепловым режимом, видам и мощности горелок разделено на три участка зон: подогрева (методическая), нагрева (сварочная), и выравнивания (томильная). Каждый обозначенный участок печи имеет верхнюю и нижнюю зоны. Нижний нагрев (зона 2, 4, 6) всех участков рабочего пространства осуществляется длиннофакельными горелками, а верхний (зона 1, 3, 5) – сводными плоскофакельными горелками. Коэффициент избытка воздуха печей нагрева $\alpha = 1,1 - 1,3$.

Температура в печи при холодном посаде НЛЗ, в соответствии с действующей технологической инструкцией, в 1-2 зонах равна 950-1020 °С, в 3-4 зонах 1090-1220° и в 5-6 зонах 1170-1200°С. Допуск по температуре газов в каждой иззоне нагревательной печи составляет $\pm 16^\circ\text{C}$. Конечная разность температур по сечению НЛЗ $\pm 25^\circ\text{C}$. Общая продолжительность нагрева непрерывно-литых заготовок должна быть не менее 3 часов для марок стали 1 группы.

Для расчета нагрева НЛЗ марки стали СтЗсп (1 группа нагрева), в методической печи была разработана математическая модель по методике Н.Ю. Тайца [3].

Для определения приведенного коэффициента излучения (σ) от газов через кладку на металл производится расчет теплообмена для верхней части рабочего пространства печи.

Коэффициент излучения определяем по формуле В.Н. Тимофеева [4]. При практическом расчете коэффициента излучения делается допущение, что тепло, передаваемое от газов кладке конвекцией, приблизительно равно потере тепла во внешнюю среду.

$$\sigma = 4,96 \varepsilon \frac{\omega + 1 - \varepsilon}{\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} [\varepsilon + \varepsilon(1 - \varepsilon)] + \omega} \quad (1)$$

где ε – степень черноты металла;

ε – степень черноты газа;

ω – степень развития кладки;

Для нижних зон значение коэффициента излучения принимается таким же.

Степень черноты металла ε не зависит от конструкции печи и эксплуатационных условий. Эта величина представляет собой теплофизическую характеристику нагреваемого металла, в расчете принимается равной 0,8.

Степень черноты газов определяем по формуле:

$$\varepsilon' = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \xi \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (2)$$

где ξ – поправочный коэффициент, учитывающий совместное излучение CO_2 и H_2O .

Степень черноты водяных паров определяется по формуле [5]:

$$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = \exp(0,5708 - 1,2016 \cdot C^{-0,2146} - (0,0038 + 0,05133 \cdot C^{-0,2105}) \cdot (t_r/100)), \quad (3)$$

Поправочный множитель для определения степени черноты водяных паров находим из соотношения [5]:

$$\beta = 1 + (-0,5 + 5,3114 \cdot C^{-0,01191}) \cdot P^{0,74 + 0,03705 \cdot C}, \quad (4)$$

где $C = C^{-0,1561}$;

P – парциальное давление CO_2 или H_2O , 10^6 Па;

Степень черноты газов CO_2 определяется по формуле [5]:

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = (-1,4918 + 0,3980 C^{-0,2609} + (0,053 - 0,1239 C^{-0,1718}) \cdot (t_r/100) + (0,003504 + 0,0009446 C^{-0,5470}) \cdot (t_r/100)^2), \quad (5)$$

Температура газов в сварочной зоне определяется по формуле:

$$t_{\text{св}} = 100 \sqrt[4]{\frac{q}{\sigma} + \left(\frac{t}{100}\right)^4} - 273 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6)$$

где t – конечная температура нагрева поверхности металла, $^\circ\text{C}$.

Средняя температура газов в методической зоне:

$$t_{\text{ср-мет}} = (t_{\text{св}} + t_{\text{yx}})/2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

где t_{yx} – температура уходящих газов, $^\circ\text{C}$;

Температура газов в томильной зоне:

$$t_{\text{том}} = 100 \sqrt[4]{\frac{q}{\sigma} + \left(\frac{t}{100}\right)^4} - 273 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (8)$$

где t – конечная температура нагрева поверхности металла, $^\circ\text{C}$;

q – удельный тепловой поток к поверхности металла, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Удельный тепловой поток воспринимаемый металлом определяется следующим образом:

$$Q = \sigma \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T'}{100} \right)^4 \right] \text{ Вт/м}^2, \quad (9)$$

где T – температура газов, °С;

T' – температура поверхности металла, °С.

Продолжительность нагрева в томильной зоне определяется по формуле:

$$\tau_T = 0,001 \frac{L^2 S \rho p}{G} \text{ ч}, \quad (10)$$

где L – длина томильной зоны, м;

n – число рядов заготовок;

ρ – плотность металла, кг/м³;

l – длина заготовки, м;

S – половина толщины нагреваемой заготовки, м;

G – производительность печи, т/ч.

Продолжительность нагрева металла в методической и сварочной зонах:

$$\tau = \frac{\Delta i S \rho}{k q'} \text{ ч}, \quad (11)$$

где Δi – теплосодержание металла в зоне нагревательной печи, кДж/кг;

ρ – плотность металла, кг/м³;

S – половина толщины нагреваемой заготовки, м;

q' – средний тепловой поток в зоне нагревательной печи, Вт/м²;

k – коэффициент, учитывающий форму нагреваемого тела;

Алгоритм расчета математической модели приведен в виде блок – схемы на рис. 1.

На методических печах с шагающими балками в условиях СПЦ–1 ОАО «ОЭМК» произведены исследования температурного режима нагрева литых заготовок с целью обеспечения требуемого их прогрева до разности температур между центром и поверхностью до не более 25 °С, что позволит снизить энергосиловые параметры прокатки металла [6] на блюминге и затем на стане 700. На рис. 2 приведены расчетные данные температуры газов в атмосфере печи, а также температуры поверхности и центра заготовки при разных значениях температуры уходящих газов (t_{yx}) и разности температуры по сечению заготовки в конце нагрева (Δt_k). В таблице 1 приведена зависимость продолжительности нагрева заготовки от температуры уходящих газов и разности температуры по сечению заготовки в конце нагрева.

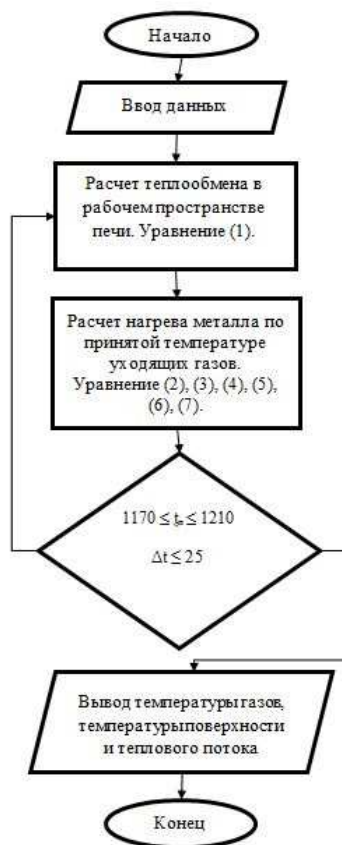
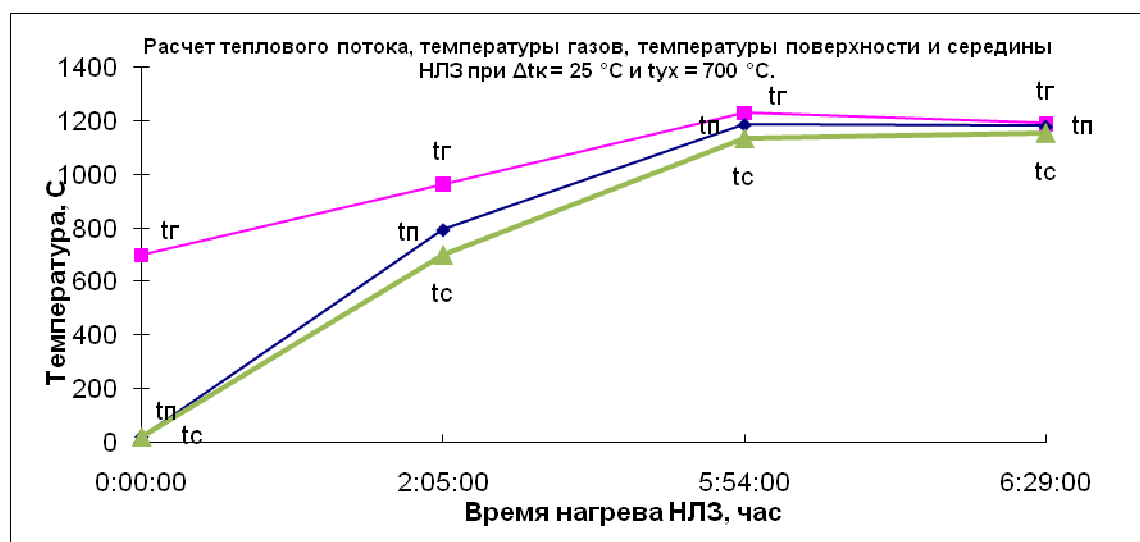
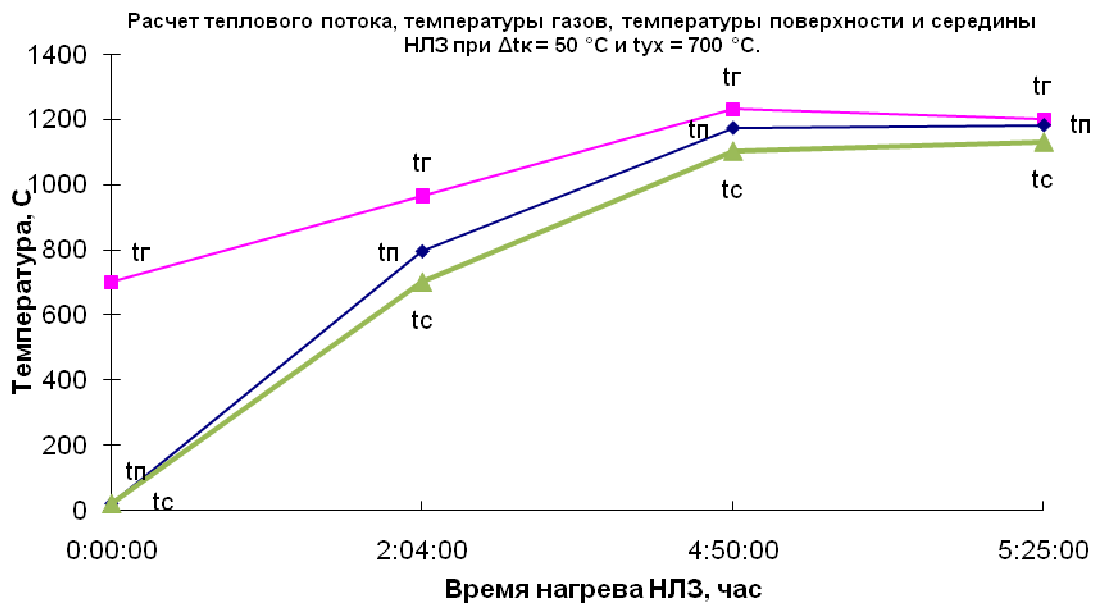
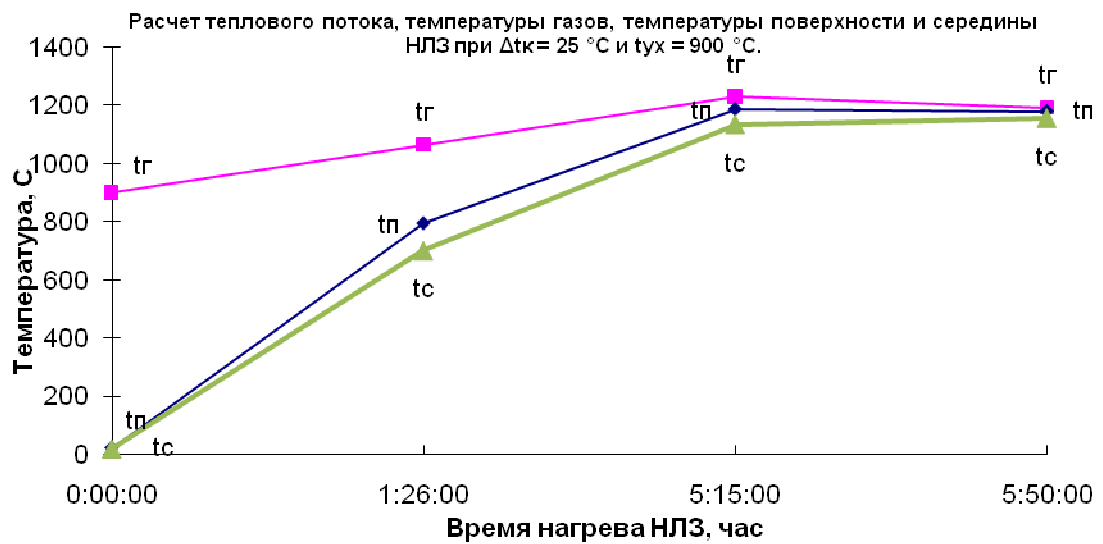
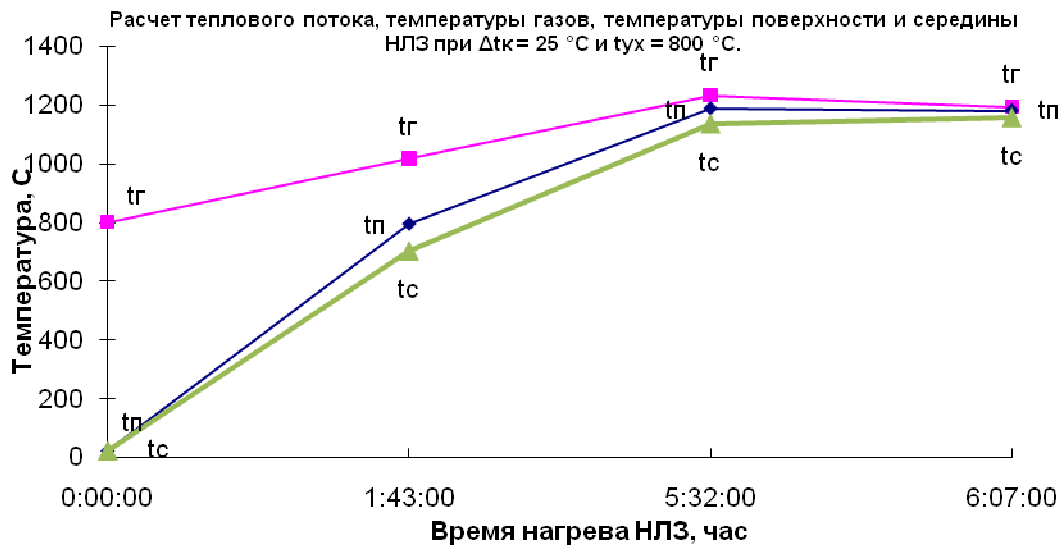


Рис.1. Блок – схема расчета нагрева НЛЗ в методической печи с шагающими балками.

Адекватность математической модели проверяли по фактическим данным температуры газов и времени нагрева НЛЗ в методической печи СПЦ-1 и приведены в работе [7].





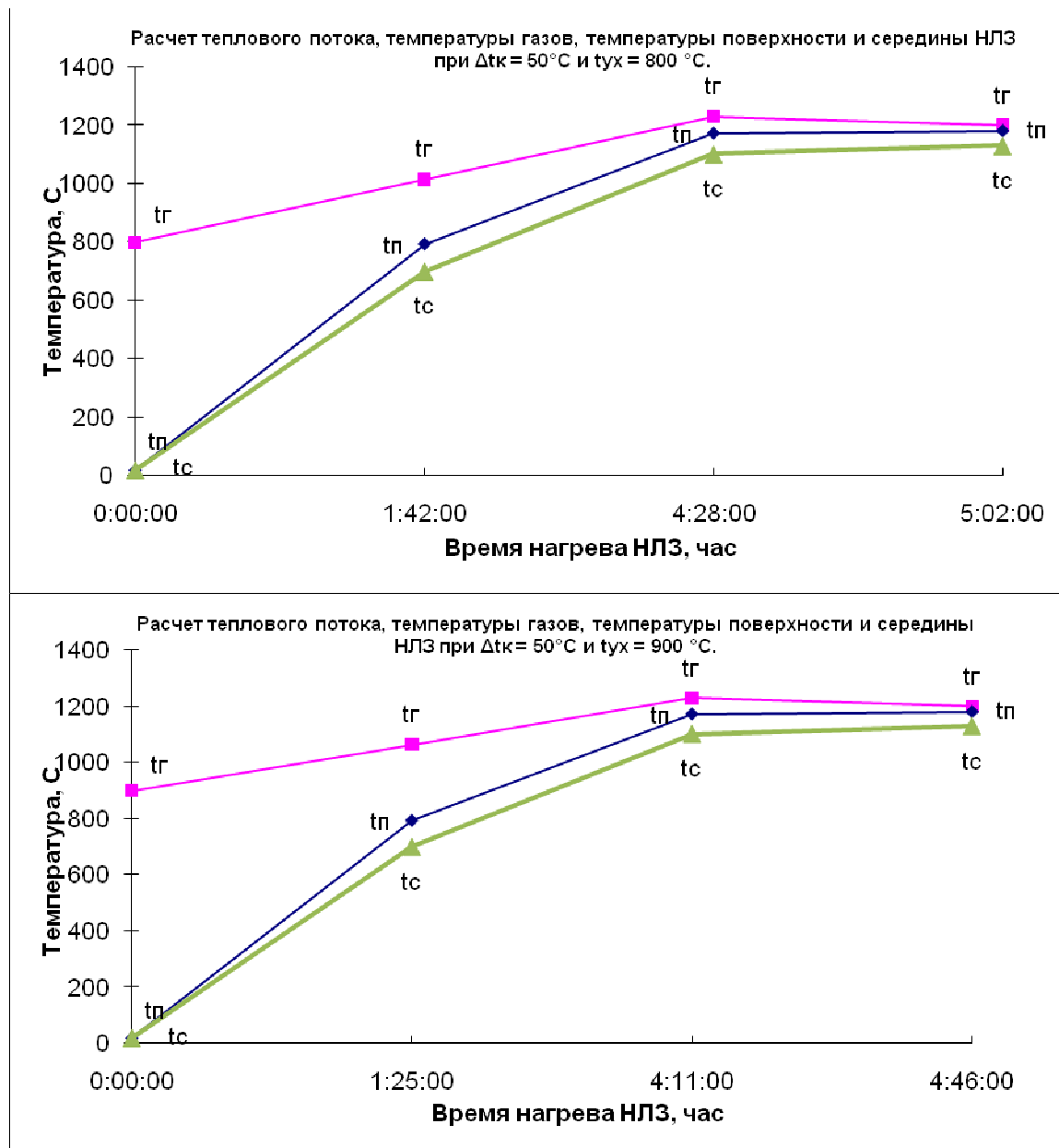


Рис. 2. Температура газов, заготовки и время нагрева в методической печи:
 t_r – температура газов в атмосфере печи, $^\circ\text{C}$; t_n – температура поверхности заготовки, $^\circ\text{C}$;
 t_c – температура середины заготовки, $^\circ\text{C}$.

На рис. 2 отображены результаты расчета нагрева непрерывно-литой заготовки при $\Delta t_k = 25^\circ\text{C}$ и $t_{yx} = 700^\circ\text{C}$ (рис. 2а), $\Delta t_k = 25^\circ\text{C}$ и $t_{yx} = 800^\circ\text{C}$ (рис. 2б), $\Delta t_k = 25^\circ\text{C}$ и $t_{yx} = 900^\circ\text{C}$ (рис. 2в), $\Delta t_k = 50^\circ\text{C}$ и $t_{yx} = 700^\circ\text{C}$ (рис. 2г), $\Delta t_k = 50^\circ\text{C}$ и $t_{yx} = 800^\circ\text{C}$ (рис. 2д), $\Delta t_k = 50^\circ\text{C}$ и $t_{yx} = 900^\circ\text{C}$ (рис. 2е)

Таблица 1 – Зависимость времени нагрева металла от температуры уходящих газов и разности температуры по сечению металла в конце нагрева.

№ п/п	$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$\tau,$ ч:мин	$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$\tau,$ ч:мин
1	25	700	06:29	50	700	05:25
2		800	06:07		800	05:02
3		900	05:50		900	04:46

Анализ данных (таблица 1) показывает, что с увеличением температуры уходящих газов и разности температуры по сечению металла в конце нагрева сокращается общее время нагрева заготовки перед прокаткой. С увеличением Δt_k будет возрастать усилие при прокатке [6].

Вывод: Таким образом, для обеспечения технологически необходимых величин сопротивления металла деформации за счет снижения его действительного предела текучести, повышения точности геометрических размеров и качества поверхности горячего проката, а также снижения энергосиловых параметров процесса прокатки металла до необходимого уровня, требуемого техническими и конструкционными характеристиками технологического оборудования прокатного стана необходимо обеспечить перепад температур по сечению непрерывно-литой заготовки при нагреве в методической печи с шагающими балками до температур $\Delta t < 25^\circ\text{C}$. Это обстоятельство позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели производства.

Список литературы

1. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства. С-Пб.: Наука. – 2005. - 260 с.
2. Климов В.К., Лапинер В.Ю. // Сталь. 1995. № 9. С. 36 – 39.
- 3/ Тайц Н.Ю., Розенгарт Ю.И. Методические нагревательные печи. – М.: Металлургиздат, 1964. - 408 с.
4. Повышение экономичности и производительности нагревательных и мартеновских печей. под ред. В.Н. Тимофеева. Сб. работ УО ВТИ, вып. 5. 1940.
5. Маковский В.А. Алгоритм управления нагревательными печами. / В.А. Маковский, И.И. Лаврентик – М.: Металлургия, 1977. – 183 с.
6. Пратусевич А.Е. Вальцовщик оператор прокатных станов. Учебник в шести книгах. Книга пятая. Текст. / Пратусевич А.Е. // Старый Оскол, 1995 г. - 180 с.
7. Кадры для региона – современная металлургия нового тысячелетия: Сборник докладов 10-й научно-практической конференции, декабрь 2013. г. Липецк, Изд-во ЛГТУ, 2013. – 208 с.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ШИХТЫ НА КОМКУЕМОСТЬ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Тимофеева А.С., к.т.н. доцент,

Никитченко Т.В., к.т.н. доцент,

Федина В.В., к.т.н. доцент.

Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
Россия, г.Старый Оскол e-mail: uked@yandex.ru (8-45-12-00-дополнительный 314)

Аннотация: в статье рассмотрено влияние удельной поверхности концентрата на комкуемость шихты и на прочность окатышей. На основе эксперимента выяснено, что наиболее выгодный вариант для шихты, с различной удельной поверхностью

Ключевые слова: шихта, концентрат, бентонит, прочность, комкуемость

INFLUENCE ON THE QUALITY OF CHARGE KOSKUEMOST IRON OREPTLLETSS

Timofeeva, A.S., PhD, Associate Professor, **Nikitchenko T.V.**, PhD, Associate Professor,
Fedina V.V., PhD, Associate Professor.

Stary Academy of Science Institute of Technology Ugarova (branch)
FSAEI Institution "National Research Institute of Technology" MISA "
Russia, Stary Oskol e-mail: uked@yandex.ru (phone: 8-45-12-00 ext. 314)

Abstract: In this paper we examine the effect of the specific surface concentrate on komkuemost charge and the strength okatyshyey. Na based experiment revealed that the most profitable option for the charge, with different specific surface

Keywords: batch, concentrate, bentonite strength komkuemost

На процесс окомкования окатышей влияет достаточно много факторов: основные - это вид руды, фракционный состав концентрата, его влажность и удельная поверхность; бентонит - его реологические свойства, химический состав, фракционный состав, влажность; параметры работы оборудования, которые оказывают не последнее влияние на комкуемость шихты.

Под «комкуемостью» в полном смысле понимают скорость образования и роста гранул и их прочность. [3]

В Старооскольском филиале НИТУ «МИСиС» на кафедре металлургии и металловедения в лабораторных условиях были проведены эксперименты по влиянию различных факторов на комкуемость шихты. Лабораторный окомкователь рассчитан на 120г шихты (Рисунок 1).

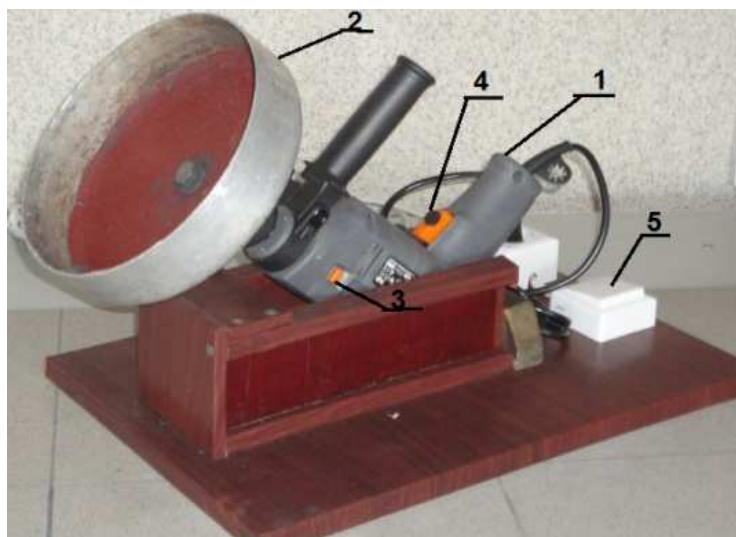


Рисунок 1. Лабораторный дисковый окомкователь: 1 – привод окомкователя; 2 - окомкователь; 3 - кнопка изменения угла наклона окомкователя; 4 - кнопка изменения частоты оборотов, 5 - кнопка включения окомкователя .

Комкуемость шихты оценивали по количеству окатышей класса более 5мм, полученных на лабораторном дисковом окомкователе:

$$K = \frac{m_{+5}}{M_{\text{нач}}} * 100 \%$$

где m_{+5} – масса окатышей класса более 5 мм, образовавшихся в процессе окомкования, г;

$M_{\text{нач}}$ – начальная масса шихты, загружаемой в окомкователь, г

Условия процесса окомкования оставались для всех экспериментов одинаковыми – скорость вращения чаши, угол наклона чаши, время окомкования, влажность как концентрата, так и бентонита.

Шихтовые составляющие имели следующие качественные показатели:

- массовая доля железа общего в концентрате 68,37 %;
- массовая доля влаги в концентрате 9,8%;
- массовая доля контрольного класса крупности менее 0,045 мм 90,0 %
- массовая доля влаги бентонитового порошка в пределах 7,5 %;

- доля контрольного класса крупности менее 0,071 мм в бентонитовом порошке 97,0%,

В шихту входил магнетитовый концентрат с содержанием железа более 69,5%, но имел различную удельную поверхность 1995см²/г и 1840см²/г и в третью партию шихты входил концентрат на половину 1995см²/г и 1840см²/г

После окомкования окатыши рассеивались по классам: менее 5мм, +5 -10мм и более 10мм. Результаты экспериментов на комкуемость представлены на рисунке 2.

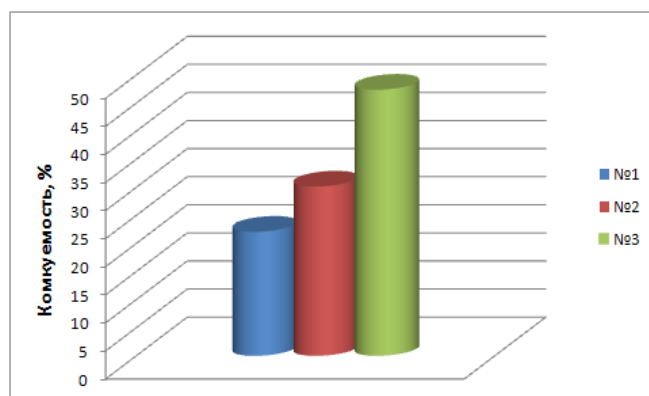


Рисунок 2. Влияние комкуемости шихты от удельной поверхности концентрата. 1 - концентрат с поверхностью 1840см²/г; 2 - концентрат с поверхностью 1995см²/г 3 - 1/2 по массе концентрат с поверхностью 1995см²/г, 1/2 - 1840см²/г.

Кроме того, проверялась прочность сырых окатышей на сжатие и удар. Результаты на сжатие представлены на рисунке 3, на удар – на рис.4. На удар и прочность окатыши определяли соответственно методике, разработанной на горно-обогатительных комбинатах. Для испытаний на прочность отбирались окатыши диаметром 9 – 12 мм. Испытанию на сжатие подвергали по 8 окатышей из каждого вида шихты, на удар – 5 окатышей. На диаграммах представлены средние значения, полученные в результате испытаний.

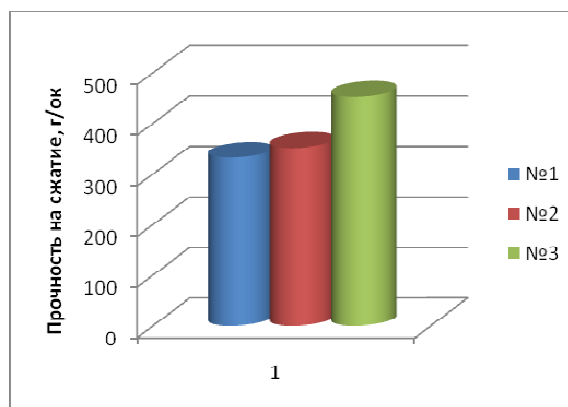


Рисунок 3. Влияние удельной поверхности концентрата на прочность сырых окатышей при сжатии: 1 - концентрат с поверхностью 1840см²/г; 2 - концентрат с поверхностью 1995см²/г, 3- 1/2 по массе концентрат с поверхностью 1995см²/г, 1/2 - 1840см²/г

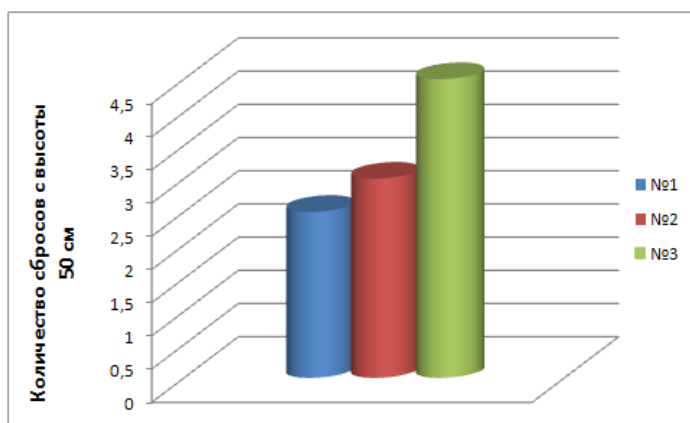


Рисунок 4. Влияние удельной поверхности концентрата на прочность сырых окатышей на удар. 1-концентрат с поверхностью $1840\text{см}^2/\text{г}$; 2- концентрат с поверхностью $1995\text{см}^2/\text{г}$ 3- 1/2 по массе концентрат с поверхностью $1995\text{см}^2/\text{г}$, 1/2- $1840\text{см}^2/\text{г}$

Анализируя диаграммы можно сделать вывод, что комкуемость шихты, состоящей из частиц с широким разбросом размера в определенном диапазоне значительно выше, чем комкуемость более однородной шихты, что обусловлено образованием более плотной структуры комка, и за счет увеличения точек контакта между частицами концентрата повышаются прочностные свойства окатышей.

УДК 669.046.56

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ ОКАТЫШЕЙ В ДУГОВОЙ ПЕЧИ

В.А.Степанов, Е.А.Черменёв,

Э.Э. Меркер, д.т.н., профессор

Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова (филиал)

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

Россия, г.Старый Оскол e-mail: Viktor 1990_31@mail.ru

***Аннотация:** В работе изучены некоторые закономерности многостадийного процесса обезуглероживания металла в ванне дуговой печи в технологических условиях осуществления непрерывной загрузки окатышей в подэлектродное пространство агрегата с применением модели, алгоритма и программы расчета параметров режима обезуглероживания металла при электроплавке стали.*

***Ключевые слова:** Обезуглероживание, металлизированные окатыши, окислительное рафинирование.*

EXPLORATION OF THE KINETIC LEGITIMACIES OF A DECARBURIZING OF METAL AT AN ELECTRIC SMELTING OF PELLETS IN THE ARC FURNACE

V.A. Stepanov, E.A. Chermenev, E.E Merker, DSc, professor.

Abstract: Some legitimacies of a many-stage decarburizing process of metal in an arc furnace bosh in technological requirements of realisation of a continuous charge of pellets in under electrode space of the unit with application of a model, algorithm and the calculation program of parametres of a mode of a decarburizing of metal are studied at a steel electric smelting.

Keywords: Decarburizing, DRI pellets, oxidising refinement.

В настоящей работе рассматриваются результаты исследования процесса обезуглероживания расплава в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) при электроплавке [4,5] ЖМО с подачей кислорода и углеродистого порошка на шлак через топливно-кислородные горелки (ТКГ) на основе закономерностей критических концентраций [1,6].

Процесс окисления ведется до времени τ_3 , причем момент τ_3 определяется равенством $[C](\tau_3) = [C]_3$ (где $[C]_3$ – заданное содержание углерода). Кинетика процесса обезуглероживания в интервале $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_3$ может быть представлена следующим обобщенным уравнением: $-d[C](\tau)/d\tau = -v_C$, $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_3$, где $v_C = v_{C,1} + v_{C,2} + v_{C,3} - v_{C,4}$, % [C]/мин; здесь v_C – обобщенная скорость окисления углерода в ванне дуговой печи при электроплавке ЖМО с учетом наличия составляющих [7,8] в режиме обезуглероживания, т.е. таких как: $v_{C,1}$ – скорость окисления углерода в объеме металла на поверхности пузырьков CO; $v_{C,2}$ – на границе раздела шлак-металл; $v_{C,3}$ – кислородом дутья от ТКГ; $v_{C,4}$ – скорость поступления углерода (науглероживания) металла за счет подачи ЖМО в ванну печи. После расшифровки последних составляющих обобщенная скорость v_C примет вид системы выражений для обезуглероживания:

$$v_C = \begin{cases} -v_{C,1} = 12/16\beta_O ([O] - [O]_{p.c.}) \frac{60S_{пуз}}{V_{me}\xi} - v_{C,2} = 12/16\beta_O ([O]_{p.ш.} - [O]) \frac{60S_{ш.м.}}{V_{me}\xi} - , \% [C]/мин, \\ -v_{C,3} = \rho_{O_2} a_{O_2} x_{O_2} I_{O_2} \eta_C 100 / M_{me} + v_{C,4} = v_{ок} ([C]_{ок} - [C]_{реакц}) / M_{me} \end{cases} \quad (1)$$

где V_{me} и M_{me} – объем (m^3) и вес (кг) металла в печи; β_O – коэффициент массопереноса кислорода, ($10^{-3} \div 10^{-5} m/c$); $S_{пуз}$ и $S_{ш.м.}$ – площадь поверхности пузырьков CO и поверхности шлак-металл, m^2 ; $[O]$, $[O]_{p.c.}$ и $[O]_{p.ш.}$ – содержание кислорода текущее в металле, равновесное с углеродом металла и равновесное со шлаком, %; η_C – доля кислорода идущая на окисление углерода [2]; a_{O_2} – коэффициент усвоения кислорода ванной (для ДСП-100 $a_{O_2} = 0,8$); I_{O_2} – интенсивность подвода технического кислорода, $m^3/мин$; ρ_{O_2} – плотность кислорода, ($1,42 \cdot 10^{-3} кг/m^3$); x_{O_2} – доля кислорода в дутье (для технического кислорода равна 0,995); $v_{ок}$ – скорость

подачи окатышей в печь, кг/мин; $[C]_{ок}$ и $[C]_{реакц} = 12/16[O]_{ок}$ – содержание углерода в окатышах и углерод окатышей идущий на довосстановление оксидов железа (FeO) содержащихся в них, %; ξ – коэффициент учитывающий накопление кислорода в металле.

Интегрирование выражения $v_C = -d[C]/dt$ дает зависимость концентрации углерода от времени, т.к. $v_C = \Delta[C]/\Delta\tau = ([C] - [C]_{нач})/(\tau - \tau_0)$, и тогда учитывая изменение массы металла:

$$[C] = ([C]_{нач} - v_C(\tau - \tau_0))M_{ме.0}/M_{ме}, \quad (2)$$

где τ_0 – начало окислительного процесса; τ – окончание окислительного процесса; $[C]_{нач}$ – начальная концентрация углерода, %; $[C]$ – конечная концентрация углерода, %; $M_{ме.0}$ – начальный вес металла в печи, кг.

Скорость образования (FeO) в шлаке за счет продувки воздухом или газообразным кислородом находили по формуле:

$$v_{(FeO),1} = \frac{72}{16} \rho_{O_2} a_{O_2} X_{O_2} I_{O_2} \eta_{Fe}, \text{ кг/мин}, \quad (3)$$

где η_{Fe} – доля кислорода идущая на окисление железа [2].

Скорость образования (FeO) в шлаке за счёт окисления углерода:

$$v_{(FeO),2} = -72/12 v_C M_{ме} / 100, \text{ кг/мин}. \quad (4)$$

При плавлении окатышей происходит довосстановление оксидов железа FeO, содержащихся в них. В случае если содержание углерода в окатышах меньше стехиометрического ($[C]_{ок} < [C]_{реакц}$), то часть FeO из окатышей переходит в шлак. Скорость поступления (FeO) в шлак за счёт загрузки окатышей равна:

$$v_{(FeO),3} = v_{ок} 72/16([O]_{ок} - 16/12[C]_{ок})/100, \text{ кг/мин}. \quad (5)$$

Тогда суммарная скорость образования (FeO) в шлаке:

$$v_{(FeO)} = v_{(FeO),1} + v_{(FeO),2} + v_{(FeO),3}. \quad (6)$$

Фактическое содержание (FeO) в шлаке можно рассчитать по формуле:

$$(FeO) = ((FeO)_{нач} M_{шл} / 100 + v_{(FeO)}(\tau - \tau_0)) 100 / M_{шл.0}, \quad (7)$$

где $(FeO)_{нач}$ – начальное содержание (FeO) в шлаке, %, $M_{шл.0}$, $M_{шл}$ – начальная и конечная масса шлака.

Объем образующегося CO:

$$V_{CO} = \frac{28/12((v_{C,1} + v_{C,2} + v_{C,3})M_{ме} + v_{ок}[C]_{реакц})}{60 \cdot 100 \rho_{CO}}, \quad (8)$$

где ρ_{CO} – плотность газа пузырей, кг/м³; $[C]_{реакц}$ – углерод окатышей идущий на довосстановление оксидов железа (FeO) содержащихся в них, %, $M_{ме}$ – масса металла в печи, т; $v_{ок}$ – скорость подачи окатышей в печь, кг/мин.

Объем СО в ванне определим по выражению:

$$V_{CO,с} = V_{CO}\tau_{под} = V_{CO}H / w_{CO}, \quad (9)$$

где $\tau_{под}$ - время подъёма пузырька, с; H - высота подъёма металла и шлака, м; w_{CO} - скорость всплытия пузырька, м/с.

Тепловой эффект от реакций:

$$q_{vC} = (q_{C,1}v_{C,1} + q_{C,2}v_{C,2} + q_{C,3}v_{C,3} + q_{C,4}v_{C,4})M_{me}/100, \quad (10)$$

$$q_{v(FeO)} = q_{(FeO),1}v_{(FeO),1} + q_{(FeO),2}v_{(FeO),2}, \quad (11)$$

где q – теплоты реакций соответственно: $q_{C,1}$, $[C]+[O] \rightarrow \{CO\}$; $q_{C,2}$, $[C]+(FeO) \rightarrow [Fe]+\{CO\}$; $q_{C,3}$, $[C]+1/2O_2 \rightarrow \{CO\}$; $q_{C,4}$, $C_{ок} \rightarrow [C]$; $q_{(FeO),1}$, $[Fe]+1/2O_2 \rightarrow (FeO)$; $q_{(FeO),2}$, $[Fe]+[O] \rightarrow (FeO)$.

Программа расчета реализована с использованием электронных таблиц MS Excel. Результаты моделирования плавки при изменении скоростей подачи окатышей ($v_{ок} = 20; 30; 40$ кг/с) в ванну 150т ДСП от начала загрузки ($M_{me,нач} = 50$ т.) до достижения массы металла в печи 150т. приведены на рис. 1 и 2. Из данных рис. 1 следует, например, что максимальная скорость окисления углерода (кривая 3) вызвана подачей кислорода на шлак от ТКГ. При этом скорости $v_{C,1}$, $v_{C,2}$ являются незначительными, но оказывают свое влияние на вспенивание шлака [5,6].

Как следует из данных рис. 2 при изменении расхода ЖМО от 20 до 40 кг/с и постоянных расходах извести и кислорода на расчетный период, кривые содержания углерода в металле (поз. а) имеют вид экспоненциальной зависимости. В начальный период значения $[C]$ практически линейно зависят от времени, затем при $[C] \leq 0,2 \pm 0,05$ % скорость изменения уменьшается и на конечном отрезке практически неизменна. Конечные содержания углерода при этом приблизительно равны (рис. 2, а). В свою очередь окисленность шлака (рис. 2, б) в конечный период плавки растет быстрее, так как при снижении содержания углерода ниже $[C] = 0,2 \pm 0,05$ % доля кислорода идущего на реакцию с углеродом уменьшается, а на окисление железа соответственно увеличивается, что может увеличить потери железа со шлаком. Кривые скорости нагрева шлако-металлического расплава от обезуглероживания металла (рис. 2, в) имеют вид экспоненциальной зависимости, максимальны в начальный период и непрерывно снижаются в связи с постоянным увеличением массы расплава.

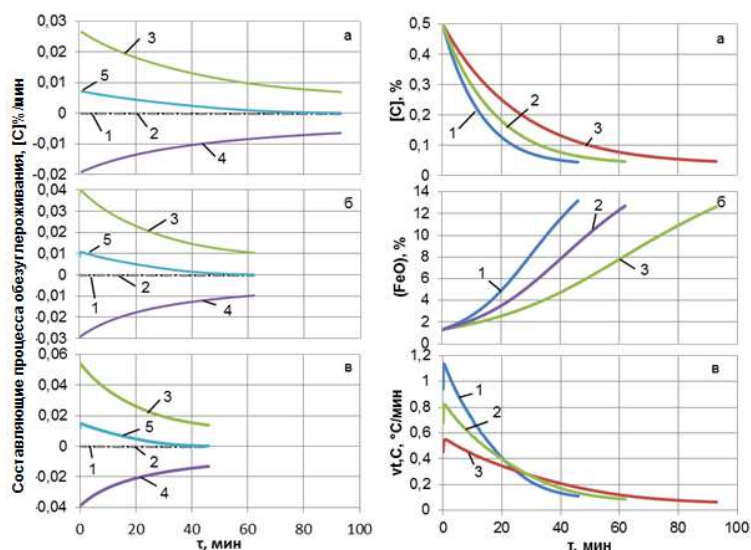


Рис. 1. Зависимость скоростей окисления углерода для различных составляющих режима обезуглероживания сталеплавильной ванны в 150т дуговой печи (1,2,3,4,5 - $v_{C,1}$, $v_{C,2}$, $v_{C,3}$, $v_{C,4}$ и v_C , % [C]/мин) при непрерывной загрузке ЖМО (а - $v_{ок} = 20$ кг/с; б - $v_{ок} = 30$ кг/с; в - $v_{ок} = 40$ кг/с)

Рис. 2. Характер изменения содержания углерода в металле (а), окислов железа в шлаке (б) и скорости нагрева шлако-металлического расплава от обезуглероживания (в) по ходу плавки при непрерывной загрузке ЖМО (1 - $v_{ок} = 40$ кг/с; 2 - $v_{ок} = 30$ кг/с; 3 - $v_{ок} = 20$ кг/с).

Таким образом, применение математической модели обезуглероживания металла в ДСП и программы расчета составляющих v_C при непрерывной подаче ЖМО по ходу плавки с интенсификацией процесса шлакообразования кислородом от ТКГ позволяет рассчитывать кривые содержания углерода в металле, окисленности шлака и скорости нагрева металла в условиях обезуглероживания в течении расчетного периода электроплавки стали с учетом непрерывной загрузки ЖМО при подаче кислорода через ТКГ, что позволяет использовать модель и ее программу для расчета управляемого окислительного рафинирования при непрерывном плавлении окатышей в ванне дуговой печи.

Список литературы

1. Филиппов, С.И. Теория процесса обезуглероживания стали / С.И. Филиппов. - М., 1956.
Филиппов, С.И. Теория металлургических процессов / С.И. Филиппов. - М., 1967.
2. Падерин, С.Н. Термодинамическое моделирование окислительных процессов при обезуглероживании стали / С.Н. Падерин, П.С. Падерин, И.В. Кузьмин // Изв. ВУЗов «Черная металлургия». - 2003. - № 5. - С. 6 - 11. Падерин, С.Н. Термодинамика и расчеты процесса глубокого обезуглероживания стали / С.Н. Падерин, Е.П. Падерина // Изв. ВУЗов «Черная металлургия». - 2005. - № 10. - С. 19 - 24.

3. Бакакин, В.А. Исследование кинетических закономерностей обезуглероживания металлического расплава / В.А. Бакакин, С.И. Филиппов, С.Н. Падерин, М.М. Волков // Изв. ВУЗов «Черная металлургия». - 1972. - № 5. - С. 5 - 7.
4. Меркер Э.Э., Черменёв Е.А., Степанов В.А. Исследование кинетических закономерностей обезуглероживания металла при электроплавке окатышей в дуговой печи // Вестник ЧГУ. – 2013. - №3. Т.1 – с. 21 – 26.
5. Меркер, Э.Э. Энергосберегающие условия плавления металлизированных окатышей в ванне дуговой печи / Э.Э. Меркер // Бюллетень «Черная металлургия». - 2008. Вып. 1 (1297). - С. 35 - 39.
6. Меркер, Э.Э. Анализ процесса самораскипания сталеплавильной ванны при продувке металла кислородом / Э.Э. Меркер // Изв. ВУЗов «Черная металлургия». - 2001. - № 6. - С. 62 - 64.
7. Хмелева, С.Л. Математическое моделирование процесса обезуглероживания в электродуговой печи / С.Л. Хмелева, А.Г. Падалко // Сб. тр. Всероссийской научно-практической конференции «Моделирование, программное обеспечение и наукоёмкие технологии в металлургии». – Новокузнецк, - 2011. - С. 347 - 355.
8. Бартенева, О.И. Исследование процессов нагрева и обезуглероживания металла в 150-т дуговой печи с переменной массой ванны / О.И. Бартенева, Э.Э. Меркер // Изв. ВУЗов «Черная металлургия». - 2001. - № 9. - С. 65 - 66.
9. Григорян, В.А. Теоретические основы электросталеплавильных процессов / В.А. Григорян, Л.Н. Белянчиков, А.Я. Стомахин. - М., 1987.

НАПРАВЛЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ОБЖИГЕ ОКАТЫШЕЙ

Горбунов В.Б., Подгородецкий Г.С.

Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Москва, Ленинский пр-т, 4. E-mail: iakrasnyanskaya@gmail.com

Аннотация. В работе на примере введения в шихту окатышей Костомукишского ГОКа (ОАО «Карельский окатыш») добавки отхода глиноземного производства – красного шлама показана возможность повышения прочностных свойств обожженных окатышей с точки зрения формирования связок рудных зерен.

Ключевые слова: окатыши, связка, прочность, красный шлам

DIRECTED FORMATION OF MINERALS BY FIRING PELLETS.

Abstract: In this paper an example of administration in charge of pellets Kostomukshsky Mining (JSC "Karelian Pellet") supplements waste alumina production - red mud is a possibility of increasing the strength properties of the fired pellets from the point of view of the formation of ligaments ore grains.

Keywords: pellets, ligament strength, red mud

Несмотря на десятилетия развития теоретических основ технологии производства окатышей, совершенствования технического оформления процесса, задачи улучшения качества окатышей и снижения энергетических затрат их производства остаются по-прежнему актуальными. Решение этих задач может быть найдено только на основе дальнейшего углубленного изучения всех тех физико-химических процессов, которые протекают на каждой стадии данной технологии от исходной руды до получения готового продукта.

Основными показателями качества промышленных окатышей является прочность на сжатие и барабанная проба, определяющая прочность на удар и истирание и характеризуют уровень завершенности процесса спекания окатышей и формирования связки зерен концентрата. Теоретические основы данного процесса разработаны достаточно полно [1,2] и позволяют научно обоснованно предлагать способы и методы интенсификации процесса спекания. Одним из таких способов является ввод добавок в шихту окатышей, ускоряющих процессы спекания на твердофазной или жидкофазной стадии процесса. Физико-химические изменения в структуре окатышей в процессе спекания при введении добавок можно охарактеризовать как направленное минералообразование в структуре окатышей в процессе термической обработки.

По нашему мнению роль такого технологического приема как введение интенсифицирующих добавок в настоящее время возрастает по двум основным причинам. Во-первых, рост степени обогащения концентрата вместе с общим снижением содержания пустой породы снижает количество той ее части, которая наиболее активно участвует в образовании жидкой фазы в процессе спекания; во-вторых, при высокоинтенсивном уровне производства образуются зональные окатыши, в этом случае необходимость упрочнения гематитовой оболочки окатыша становится еще более актуальной.

В данной работе на примере введения в шихту окатышей Костомукшского ГОКа (ОАО «Карельский окатыш») добавки отхода глиноземного производства – красного шлама показана возможность повышения прочностных свойств обожженных окатышей.

Положительная роль красного шлама в упрочнении агломерата и окатышей общеизвестна [3], однако применение его в промышленности не получила должного распространения, хотя способов его промышленного применения в черной металлургии предложено достаточно [4,5]. Основным препятствием, помимо технологических трудностей транспортировки и подачи его в шихту, является высокое содержание оксидов щелочных металлов ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4\text{-}5\%$). Кроме того, попытки замены бентонита красным шламом приводят к ухудшению свойств сырых окатышей, что было замечено ранее и получено в нашей работе при окомковании в лабораторных условиях Костомукшского концентрата (таблица 1). Однако не просто увеличение прочности окатышей с красным шламом, а более сильный эффект для середины и низа слоя предопределяют интерес к данному виду добавки.

Таблица 1. Результаты испытаний сырых и обожженных окатышей из Костомукшского концентрата с использованием добавки красного шлама. Окомкование в лабораторных условиях, обжиг на конвейерной машине.

Показатели	Неофлюсованные окатыши			Офлюсованные окатыши	
	Шла м 2 %	Шла м 3 %	Бенто нит	Шлам 2%	Бенто нит
Состав шихты, %					
концентрат	98,0	97,0	99,23	91,3	94,96
известняк				6,7	7,39
бентонит			0,77		0,65
красный шлам	2,0	3,0		2,0	
Массовая доля в сырых окатышах, %					
класс +16 мм	36,8	2,9	18,4	2,5	4,0
класс 8-16 мм	62,5	96,8	81,0	97,3	95,6
Средний диаметр, мм	15,5	14,4	14,2	13,8	12,3
Прочность на раздавливание, кг/ок					
сырых	0,625	0,583	0,933	0,675	1,003
сухих	0,781	0,660	2,514	0,648	2,413
Прочность на сбрасывание					
сырых, раз	1,8	1,7	6,7	2,3	4,6
Массовая доля в обожженных окатышах, %					
класс +16 мм	18,3	4,3	17,4	4,4	4,1
класс 8-16 мм	80,6	94,8	82,1	94,5	95,3
класс -5 мм	0,	0,	0,2	0,6	0,3

	6	5			
Средний диаметр, мм	14,3	14,5	14,2	14,1	12,2
Прочность на сжатие обоженных окатышей, кг/ок					
верх слоя	318	281	298	261	235
середина слоя	292	301	232	316	271
низ слоя	302	262	177	287	246
среднее по слою	304	285	235	288	250
Химический состав, %					
Массовая доля в: концентрате					
Fe	67,69			68,38	
S	0,17			0,205	
обоженных окатышах					
Fe	64,79	64,48	65,00	62,87	63,03
S	0,007	0,005	0,003	0,130	0,115

Структурное различие в окатышах с красным шламом и без него заключалось в том, что в окатышах с красным шламом наряду с областями прошедшими стадию твердофазного спекания, наличествовали существенное количество областей, прошедшие стадию жидкофазного спекания (рисунок 1), в то время как в окатышах с бентонитом в основном присутствует связка рудных зерен между собой (рисунок 2).

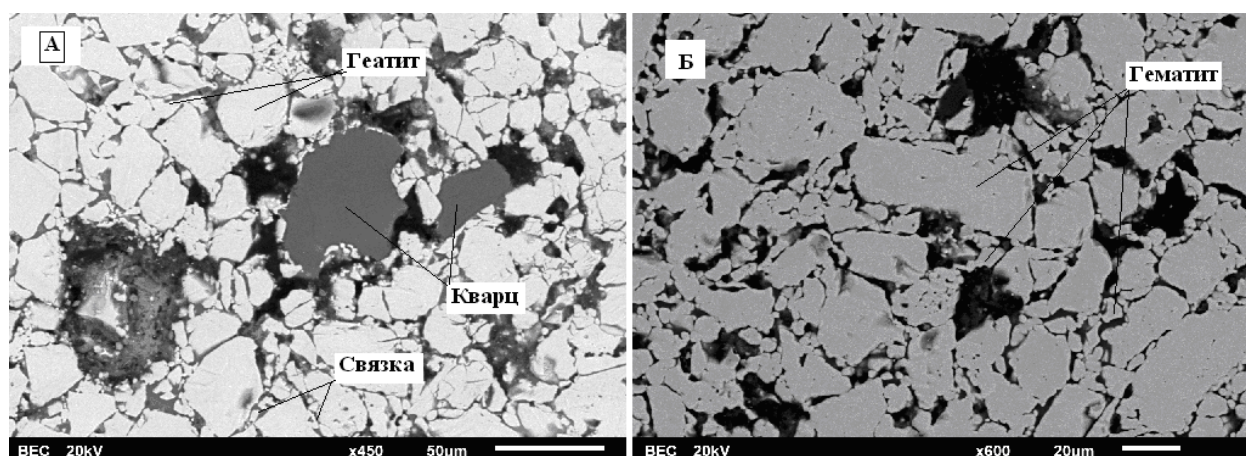


Рис1. Структура окатышей с добавкой 3% красного шлама. А- области, прошедшие стадию жидкофазного спекания, Б- области твердофазного спекания.

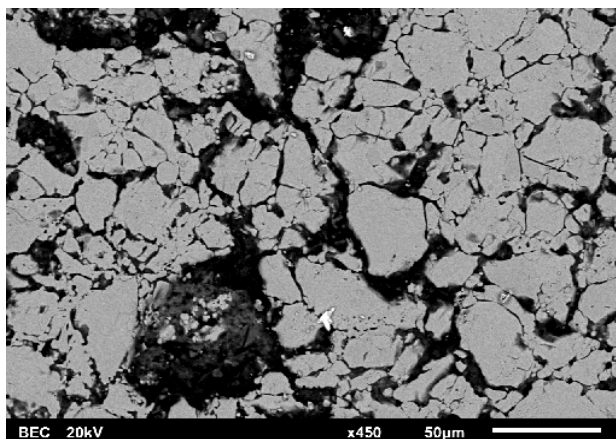


Рис. 2 Типичная структура окатышей с бентонитом.

Специалистами Инженерно-технологического центра компании «РУСАЛ» методом ионного обмена Ca-Na получен низкощелочной красный шлам (НКШ), химический состав которого представлен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав низкощелочного красного шлама (НКШ)

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	ППП
43,94	9,43	26,15	12,90	0,96	0,18	1,01	4,54	0,90	9,43

Учитывая, что предыдущие испытания с красным шламом показали его низкие качества как связующего при окомковании, эксперимент был запланирован как с полным выводом бентонита, так и с выводом части бентонита от количества, добавляемого в окатыши по технологической карте.

Таблица 3. Свойства сырых окатышей при использовании в шихте НКШ

Показатели	Неофлюсованные окатыши			Офлюсованные окатыши		
	Шлам	Шлам + Бентонит	Бентонит	Шлам	Шлам + Бентонит	Бентонит
Состав шихты, %						
концентрат	98,0	97,7	99,18	92,6	92,2	92,9
известняк				5,4	5,5	6,4
бентонит		0,3	0,82		0,3	0,70
красный шлам	2,0	2,0		2,0	2,0	
Прочность на раздавливание, кг/ок						
сырых	0,63	0,80	1,04	0,59	0,89	1,13
сухих	0,68	1,28	2,22	0,95	1,39	2,30
Прочность на сбрасывание						
сырых, раз	1,9	2,7	4,8	2,2	2,7	4,8

Таблица 4. Свойства обожженных окатышей при использовании в шихте НКШ

Показатели	Неофлюсованные окатыши 31.10.12			Офлюсованные окатыши 7.11.12		
	Шла м	Шлам + Бентон ит	Бентон ит	Шла м	Шлам + Бентон ит	Бентон ит
Состав шихты, %						
концентрат	98,0	97,7	99,18	92,6	92,2	92,9
известняк				5,4	5,5	6,4
бентонит		0,3	0,82		0,3	0,70
красный шлам	2,0	2,0		2,0	2,0	
Прочность на сжатие						
обоженных окатышей, кг/ок	216	271	223	152	152	185
верх			253	149	141	194
середина	258	291	239	157	144	174
низ	173	251	177	149	170	187
Химический состав, %						
Массовая доля в обоженных окатышах (среднее)						
Fe	65,3 3	65,14	65,34	63,6 6	63,57	63,60
S	0,0 03	0,004	0,005	0,14 2	0,085	0,100
CaO	0,61	0,53	0,54	3,17	3,23	3,34
SiO ₂	5,60	5,76	5,74	4,81	4,77	5,10
MgO	0,19	0,19	0,19	0,25	0,27	0,27
K ₂ O	0,04 0	0,043	0,041	0,36	0,048	0,52
Na ₂ O	0,10 4	0,104	0,102	0,91	0,088	0,095

Основность офлюсованных окатышей соответствовала основности промышленных окатышей на момент проведения испытаний ($B=0,74$). Результаты испытаний представлены в таблице 3 и 4.

Как следует из представленных таблиц, изменением химического состава добавки удалось добиться, чтобы содержание щелочных элементов и железа в обожженных окатышах оставалось на уровне исходного, однако свойства сырых окатышей, как и в случае обычного красного шлама ниже, чем с бентонитом. Что касается свойств обожженных окатышей, то обращает внимание, что наилучшие прочностные свойства обладают окатыши с комплексной добавкой НКШ + бентонит.

Изучение структуры обожженных окатышей с помощью электронной микроскопии (рисунки 3 и 4) с учетом элементного состава фаз дает основание утверждать, что в окатышах с НКШ помимо обычной связки на основе оксидов кальция, кремния и железа [6], формируется связка на основе взаимодействия рудной фазы и низкощелочного красного шлама, что, по-видимому, и определяет повышение прочности окатыша.

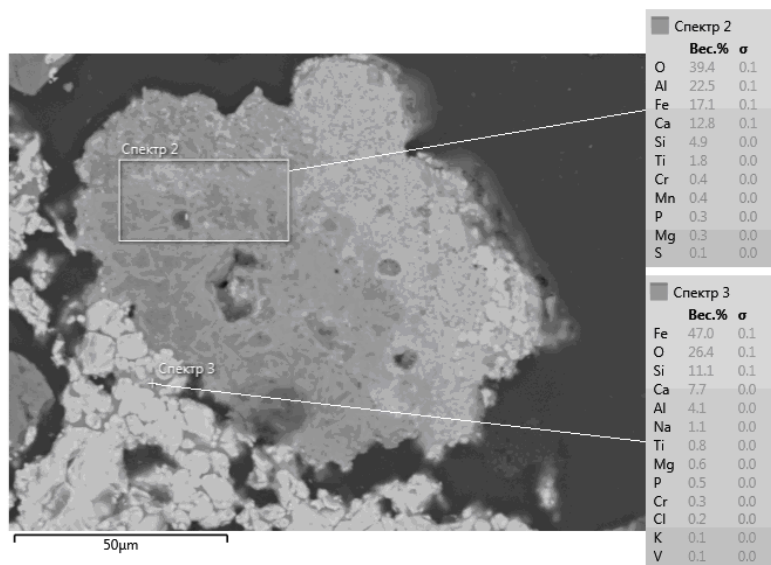


Рис. 3 Формирование связки в гематитовой оболочке окатыша с низкощелочным красным шламом.

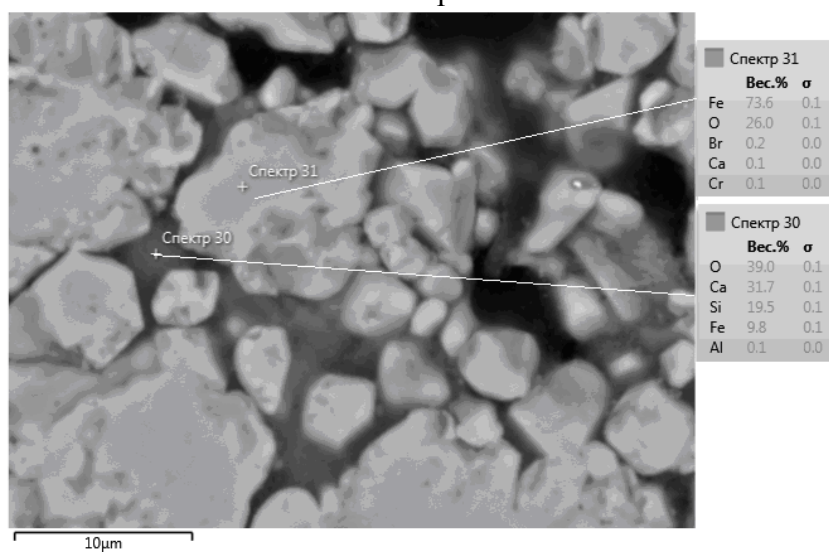


Рис. 4 Формирование связки в гематитовой оболочке окатыша с бентонитом. Следует отметить, что при изучении структуры окатышей с комплексной добавкой

НКШ + бентонит фрагментов НКШ не было обнаружено, что позволяет предположить о более полном взаимодействии НКШ с бентонитом и концентратом с образованием жидких фаз (рисунок 5), что, в свою очередь, и является причиной большей прочности окатышей.

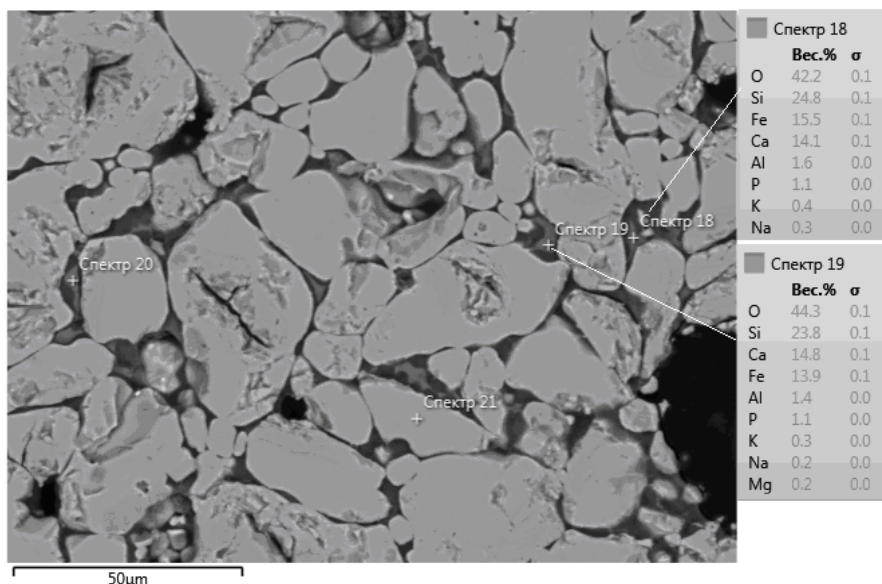


Рис. 5. Формирование связки в гематитовой оболочке окатыша с добавкой НКШ + бентонит.

Данное исследование далеко от полноты теоретического объяснения образования жидких фаз в зависимости от вида добавки, но является еще одним подтверждением возможности направленного воздействия на формирование минеральной структуры окатышей, и соответственно, на промышленные характеристики данного вида окускованного сырья.

Список литературы

1. Юсфин Ю.С., Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей. М., Metallurgy, 1973, 272 с.
2. Малышева Т.Я. Железорудное сырье: упрочнение при термообработке. М., Наука, 1988, 199 с.
3. Утков В.А., Леонтьев Л.И. Повышение прочности агломератов и окатышей при помощи бокситового красного шлама. Сталь, 2005, № 9, 2-4.
4. Утков В.А., Иванов А.И., Быткин В.Н., Петров СИ., Николаев С.А., Тесля В.Г., Коробов В.И., Быков Л.В., Левченко В.И., Зотов А.В., Коваль В.А., Леонтьев Л.И. Основы теории и промышленной технологии эффективного применения красных шламов в черной металлургии. «Сборник научных докладов научно-технической конференции на Николаевском глиноземном заводе», г. Николаев, 2000.
5. Утков В.А., Петров СИ., Куценко В.Ф., Кунин Л.Е. Исследование влияния красного шлама на свойства сырых окатышей. В сб. «Совершенствование технологии получения глинозема и повышения комплексности использования сырья». ВАМИ, 1980.
6. Журавлев Ф.М., Малышева Т.Я. Окатыши из концентратов железистых кварцитов. М., Metallurgy, 1991, 127 с.

**СЕКЦИЯ: АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И
ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

УДК 336.5:69

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОДВИЖЕНИИ ТОВАРОВ И УСЛУГ

Т.А. Аверина

Воронежский ГАСУ

***Аннотация.** В работе рассматривается новое направление в продвижении товаров и услуг - Inbound Marketing. Приводятся его основные принципы и преимущества. Рассматривается модель затрат на рекламу.*

***Ключевые слова:** втягивающий маркетинг, реклама, затраты, IT-технологии.*

INNOVATION TECHNOLOGIES IN PRODUCTS AND SERVICES PROMOTION

T.A. Averina

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

***Abstract.** In work the new direction in products and services promotion - Inbound Marketing is considered. Its basic principles and advantages are given. The model of advertising costs is considered.*

***Keywords:** Inbound Marketing, advertising costs, IT technologies.*

В последние несколько лет в США и многих других развитых странах мира стремительно развивается так называемый «втягивающий маркетинг» (*Inbound Marketing*).

Отправная точка втягивающего маркетинга состоит в том, что сегодня в удовлетворении своих потребностей потребители играют активную роль, осуществляя поиск адекватных решений своих проблем. Результатам своих поисков они доверяют существенно больше, чем бесчисленным обещаниям торговых представителей.

Ещё одна особенность втягивающего маркетинга состоит в том, что он предполагает непрерывное интерактивное взаимодействие с потенциальными потребителями на всех этапах процесса посредством современных IT-технологий.

Новый революционный «входящий маркетинг» основывается на следующих принципах рис. 1:



Рис. 1

Таким образом, inbound marketing,— постоянный входящий поток трафика на основе генерации релевантного контента и конвертация его на офферах в формате landing page с последующей автоматизацией

Брайан Халлиган [5] определяет концепцию «входящего маркетинга» как «простой процесс из трех шагов»:

- привлечите посетителей на свою целевую страницу/сайт;
- конвертируйте их в пользователей;
- проанализируйте свои действия.

Брайан Халлиган считает, что именно «входящий маркетинг» идеально подходит для предпринимателей из сектора малого и среднего бизнеса (SMB), не обладающих большими рекламными бюджетами.

В чем же заключаются основные преимущества «втягивающего маркетинга» (*Inbound Marketing*) (табл.)?

Так каковы же причины появления нового направления в маркетинге?

В тенденциях развития современного общества. В частности, следует обратить внимание на следующие показатели, фигурирующие в разнообразных американских источниках

- 80% взрослого населения США являются пользователями глобальной сети;
- 80% пользователей используют Интернет для поиска продукции и услуг;
- среднестатистический американский пользователь просматривает чуть менее 3000 страниц в месяц;
- 24% взрослых американцев оставляют комментарии относительно приобретённой ими продукции (услугах);
- 9 из 10 американских пользователей по крайней мере один раз в месяц заглядывают в социальные сети;

Что же касается эффективности использования новых технологий?

Согласно результатам исследования [4], «втягивающий маркетинг» поставляет на 54% больше потенциальных клиентов нежели «выталкивающий».

Таблица

Преимущества Inbound Marketing

<i>Критерий</i>	<i>Outbound Marketing</i>	<i>Inbound Marketing</i>
Стоимость привлечения клиента (для компании свыше 200 человек)	486\$	291\$
<i>Стоимость лида на 60% ниже при Inbound Marketing</i>		
Интерактивное взаимодействие с потребителем	нет	да
<i>Поддерживается постоянный контакт с потребителем</i>		
Дополнительный охват потребителей	нет	да
<i>Полезной информацией люди с удовольствием делятся в соц. сетях</i>		
Точность выявления потребностей	средняя/низкая	высокая
<i>Потребитель сам идентифицирует свои потребности</i>		
Целевая направленность	разовые продажи	долгосрочные отношения с потребителями
<i>Присутствует обоюдный интерес развития</i>		

Стоит отметить, что в опрос проводился с 31 января по 14 февраля 2013 года и в нем принимали участие 3339 респондентов преимущественно представители бизнес среды из 128 стран шести континентов [4].

На вопрос: "Какие источники лидов стали для вашей компании более важными за последние шесть месяцев?" Наибольшее предпочтение респондентов было отдано Social media и SEO (рис.2).

Относительности полезности современных социальных сетей, следует отметить: 52% респондентов признались, что смогли привлечь новых клиентов с помощью Facebook и 43% с помощью LinkedIn [4].

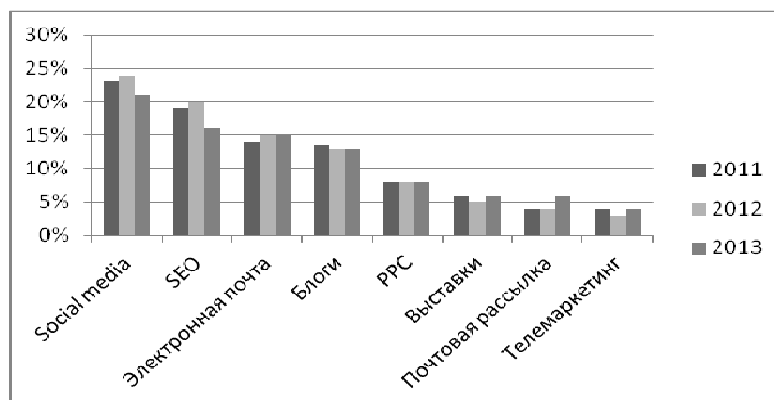


Рис. 2

Что же касается перспектив использования *Inbound Marketing* в России.

Начинает развиваться "втягивающий маркетинг" и в России.

По прогнозу [6] к концу 2014 года численность интернет пользователей в России составит около 80 млн. чел., или 71% населения страны старше 18 лет.

Разумеется, что речь не идет о замещении выталкивающего маркетинга втягивающим, а скорее об их эффективном совместном использовании.

Даже при таких тенденциях развития важно постоянно учитывать эффективность проводимых маркетинговых мероприятий.

Рассмотрим модель расходов на рекламу [3].

Как известно из модели Хотеллинга предельный потребитель характеризуется следующим образом $x^* = \frac{p_2 - p_1 + t}{2t}$. Равновесная рыночная цена устанавливается в размере $p_1^* = p_2^* = c + t$, где c – предельные издержки фирмы.

Введем условие о рекламных расходах. Пусть потребитель знает о наличии товара (его местоположении и цене) только в том случае, если он получил рекламное сообщение данной фирмы. Предположим, что доля θ_1 всех потребителей (общим числом N) получила рекламное послание фирмы 1 и только доля θ_2 всех потребителей получила рекламное послание фирмы 2.

Тогда все потребители могут быть разбиты на четыре группы:

- потребители, которые получили рекламное послание фирмы 1 и фирмы 2, и их доля составит $\theta_1\theta_2$;
- потребители, которые получили рекламное послание фирмы 1 и не получили рекламное послание фирмы 2, и их доля составит $\theta_1(1-\theta_2)$;
- потребители, которые получили рекламное послание фирмы 2 и не получили рекламное послание фирмы 1, и их доля составит $\theta_2(1-\theta_1)$;

- потребители, которые не получили рекламного послания ни фирмы 1, ни фирмы 2, их доля составит $(1 - \theta_1)(1 - \theta_2)$.

Потребители распределены равномерно вдоль линейного города.

Введем функции спроса. Конкуренция между фирмами возможна только в области, где потребители получили послание обеих фирм. Следовательно, только в отношении части совокупного спроса линейного города можно применить представление о линейном потребителе.

Запишем функцию спроса для фирмы 1:

$$D_1(\theta_1; \theta_2; p_1; p_2) = \theta_1(1 - \theta_2)N + \theta_1\theta_2x^*N$$

для фирмы 2:

$$D_2(\theta_1; \theta_2; p_1; p_2) = \theta_2(1 - \theta_1)N + \theta_1\theta_2x^*N.$$

Функции спроса будут зависеть теперь не только от цен товаров, но и от доли потребителей, получивших рекламное сообщение.

Разумно предположить, что доля потребителей, получающих рекламные послания, напрямую зависит от величины рекламных расходов фирмы.

Введем функцию рекламных расходов фирмы: $A = A(\theta; N)$.

Будем считать, что

$$\frac{dA}{d\theta} > 0 \text{ и } \frac{dA}{dN} = \text{const.}$$

Цель каждой фирмы – максимизировать свою функцию прибыли:

$$\pi_i(\theta_i; \theta_j; p_i; p_j) = (p_i - c_i)D_i(\theta_i; \theta_j; p_i; p_j) - A_i(\theta_i; N),$$

по отношению к двум поведенческим переменным θ и p .

Список литературы

- 1.Аверина Т.А. Разработка измерительной системы инновации (Печатный) / Аверина Т.А., Авдеева Е.А. / Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал № 3.1 (9).Воронеж "Научная книга" 2013 г. С. 130-136
- 2.Аверина, Т.А. Инновационный менеджмент: учебное пособие / Т.А. Аверина, С.А. Баркалов, И.С. Суровцев, И.Ф. Набиуллин // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 483с.
- 3.Розанова Н.М. Экономическая теория фирмы: Учебник / Н.М. Розанова. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2009. – 447 с.
- 4.State of Inbound Marketing Annual Report. HubSpot, 2013. - 164 p.

АЛГОРИТМ СИНТЕЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМОВ ОПЕРАЦИЙ

С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Д.Н. Золоторев

Воронежский ГАСУ

Аннотация. Рассматривается задача определения объемов операций из условия, чтобы комплекс операций был выполнен за время T и некоторая функция потерь, монотонно возрастающая с уменьшением объемов операций, приняла минимальное значение. Для решения задачи предлагаются эффективные алгоритмы, основанные на правиле максимального выравнивания остаточных уровней ресурсов и правиле распределения ресурсов по степени критичности операций.

Ключевые слова: объем операции; функция потерь, алгоритм.

PROBLEM OF SYNTHESIS OF THE VOLUME OF TRANSACTION IN PROJECT MANAGEMENT

S.A. Barkalov, V.N. Burkov, D.N. Zolotorev

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Abstract. The problem of determining the volume of transactions such that the set of operations was carried out for the time T and some function losses monotonically increasing with decreasing the volume of operations, took the minimum value. To solve the problem of an effective algorithm based on the rule of maximum Pan & Scan-nivaniya residual levels of resources and the distribution rule resources by severity operations.

Keywords: volume of transactions; loss function, algorithm

Постановка задачи. Рассматривается сравнительно новая в теории сетевого планирования и управления задача определения оптимальных объемов операций (впервые она поставлена в работе [4] под названием «задача синтеза сетей»).

Используемая терминология следует определениям [2 и 6]. Хотя эта терминология широко применяется многими авторами, она не является общепринятой и поэтому имеет смысл привести основные определения, необходимые для дальнейшего изложения.

Операцией называется процесс, описываемый уравнением

$$h(t) = dx(x) / dt = \tilde{f}[u(t)], \quad (1)$$

где $h(t)$ — скорость (интенсивность) операции в момент t (скаляр); $u(t)$ — количество ресурсов на операции в момент t (вектор); $x(t)$ — состояние операции в момент t (скаляр).

Функция $\tilde{f}(u)$ предполагается, как правило, неубывающей, непрерывной справа, причем $\tilde{f}(0)=0$. Будем предполагать, что ресурсы участвуют в операции в определенном соотношении (наборе), т. е. $u(t)=\alpha v(t)$, где $\alpha \geq 0$ — заданный вектор. В этом случае зависимость $\tilde{f}(u)$ можно представить в виде $f(v)$, где v — количество ресурсов (единиц наборов). Начальное состояние операции принимается равным 0, конечное — некоторому числу w , которое называется объемом операции. Момент окончания операции t^k , количество ресурсов, участвующих в ней, $v(t)$ и объем операции w связаны очевидным уравнением

$$\int_{t^h}^{t^k} f[v(t)] dt = w, \quad (2)$$

где t^h — момент начала операции.

Рассмотрим комплекс из n операций, необходимая очередность выполнения которых определяется сетью (сетевым графиком). Для выполнения комплекса операций выделены ресурсы m видов в количестве $N_j(t)$, $j=1,2,\dots, m$. Одна из распространенных задач теории сетевого планирования и управления связана с минимизацией продолжительности комплекса операций при заданных ограничениях на ресурсы [1, 2]. Обозначим через $T_{мин}(w_3)$ минимальную продолжительность комплекса операций при заданном векторе w_3 объемов операций. Очевидно, что при изменении объемов операций меняется и минимальная продолжительность комплекса. Необходимость изменения объемов операций возникает по многим причинам. Так, если задан директивный срок завершения комплекса $T_{дир}$, то может оказаться, что $T_{мин}(w_3) > T_{дир}$, т. е. выполнить заданный объем работ имеющимися ресурсами за время $T_{дир}$ невозможно. В этом случае возникает задача уменьшения объемов операций, выполняемых выделенным количеством ресурсов. Очевидно, невыполнение работ в полном объеме приводит либо к потерям в качестве результата, либо к дополнительным затратам, если привлекаются дополнительные ресурсы (например, сверхурочные либо выполнение части работ заказывается внешним организациям). Обозначим эти потери $\sigma(w)$. Теперь можно сформулировать задачу определения оптимальных объемов операций.

Задача. Определить объемы операций w так, чтобы $T_{мин}(w_3) \leq T_{дир}$ (комплекс был завершен в срок) и дополнительные потери $\sigma(w)$ были минимальными.

Сложность решения задачи состоит в том, что зависимость $T_{мин}(w)$ в общем случае не только не задана в аналитическом виде, но неизвестно, как ее получить — нет эффективных методов решения задач распределения ресурсов в комплексах операций.

Ниже рассматривается ряд частных случаев, для которых можно провести решение задачи определения минимальной продолжительности комплекса $T_{мин}(w)$.

Независимые операции. Выпуклый случай. Пусть операции комплекса независимы, количество ресурсов N_j не зависит от времени, f_i — выпуклые (кверху) функции v_i для всех i . Тогда условия выполнимости объема работ w за время $T_{дир}$ имеют вид [3]

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \varphi_i \left(\frac{w_i}{T_{дир}} \right) \leq N_j \quad (j=1, 2, \dots, m), \quad (3)$$

где φ_i — функция, обратная f_i ; α_{ij} — j -я компонента вектора α_i для i -й операции. Ограничения (3) определяют выпуклое множество в силу выпуклости φ_i . Получаем задачу минимизации $\sigma(w)$ при ограничениях (3) и $w \geq 0$. В линейном случае, когда $\sigma(w) = \sum_i c_i (Q_i - w_i)$ (Q_i — максимальный объем i -й операции), $f_i = v_i$ ($i=1, 2, \dots, n$), получаем задачу линейного программирования:

$$\begin{aligned} \sum_i c_i (Q_i - w_i) &\rightarrow \min, \\ 0 \leq w_i &\leq Q_i \quad (i=1, 2, \dots, n), \\ \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} w_i &\leq N_j T_{дир} \quad (j=1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

Степенные зависимости. Ресурсы одного вида. Пусть скорость операции является степенной функцией количества ресурсов: $f_i(v_i) = v_i^{1/\beta}$, $\beta > 1$ ($i=1, 2, \dots, n$), и все операции выполняются ресурсами одного вида, количество которых $N(t)$. В этом случае существует число $W_3(w)$, называемое эквивалентным объемом комплекса, такое, что минимальная продолжительность комплекса операций определяется из уравнения [1]

$$\int_0^{T_{мин}} N^{1/\beta}(t) dt = W_3(w). \quad (4)$$

Из этого уравнения следует, что максимальное значение $W_3(w)$ при сроке $T_{дир}$ равно

$$Q = \int_0^{T_{дир}} N^{1/\beta}(t) dt, \quad t \in (0, T_{дир}).$$

Таким образом, задача определения оптимальных объемов операций сводится к минимизации $\sigma(w)$ при ограничении $W_3(w) \leq Q$. Г. Н. Кашенковой доказано, что $W_3(w)$ — выпуклая функция w . Поэтому при выпуклой функции $\sigma(w)$ получаем задачу выпуклого программирования.

Линейный случай. Независимые операции. Ресурсы одного вида. Пусть операции сети независимы, а скорости операций являются линейными функциями количества ресурсов на отрезке $[0, b_i]$:

$$f_i(v_i) = \begin{cases} v_i, & \text{если } 0 \leq v_i \leq b_i, \\ b_i, & \text{если } b_i \leq v_i. \end{cases} \quad (5)$$

Примем далее, что количество ресурсов является кусочнопостоянной функцией времени с интервалами постоянства (T_{s-1}, T_s) , $s=1, 2, \dots, r$, где $T_0=0$, $T_r = T_{dur}$. Обозначим через Δ_s длительность интервала (T_{s-1}, T_s) , N_s — количество ресурсов в этом интервале. Введем переменные x_{is} — часть объема i -й операции, выполняемой в s -м интервале. Рассмотрим следующую задачу определения объемов операций: минимизировать

$$\sigma(w) = \sum_i c_i (Q_i - w_i) = \sum_i Q_i c_i - \sum_{i,s} c_i x_{is} \quad (6)$$

при ограничениях

$$w_i = \sum_{s=1}^r x_{is} \leq Q_i \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{is} \leq N_s * \Delta_s \quad (s=1, 2, \dots, r), \quad (8)$$

$$0 \leq x_{is} \leq b_i \Delta_s \quad (i=1, 2, \dots, n; s=1, 2, \dots, r). \quad (9)$$

Задача (6) — (9) является частным случаем транспортной задачи. Однако ее специфика позволяет предложить эффективный алгоритм решения, основанный на последовательном рассмотрении операций в порядке убывания величин c_i . Примем для определенности, что $c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_n$. Пусть уже определены объемы x_{is}^0 ($s=1, 2, \dots, r$) для всех операций с номерами $i=1, 2, \dots, k-1$.

Рассмотрим k -й шаг алгоритма, т. е. процедуру определения объемов x_{ks} , ($s=1, 2, \dots, r$). В основе процедуры лежит правило максимального выравнивания остаточных уровней ресурсов (правило МВ):

$$M_{ks} = N_s - \frac{1}{\Delta_s} \sum_{j=1}^k x_{js}^0. \quad (10)$$

Объемы x_{ks}^0 , полученные по этому правилу, должны удовлетворять следующему условию: если для каких-либо s, l имеет место $M_{ks} > M_{kl}$, то либо $x_{ks}^0 = b_k * \Delta_s$, либо $x_{kl}^0 = 0$ (либо то и другое вместе). Другими словами, M_{ks} уже невозможно уменьшить (уравнять с M_{kl}) либо потому, что объем x_{ks}^0 равен максимально возможному $b_k * \Delta_s$ либо потому, что объем $x_{kl}^0 = 0$. Из этого условия следует простая процедура определения объемов x_{ks}^0 по правилу МВ. Задаемся некоторым значением уровня:

$$0 \leq \delta_k < \max M_{k-1,s}.$$

Определим $x_{ks}(\delta_k)$ следующим образом:

$$x_{ks}(\delta_k) = \begin{cases} 0, & \text{если } M_{k-1,s} \leq \delta_k, \\ (M_{k-1,s} - \delta_k)\Delta_s, & \text{если } M_{k-1,s} - b_k < \delta_k < M_{k-1,s}, \\ b_k * \Delta_s, & \text{если } \delta_k \leq M_{k-1,s} - b_k. \end{cases}$$

Заметим, что при $\delta_k = \max_s M_{k-1,s}$ все $x_{ks}(\delta_k) = 0$, а при $\delta_k = 0$, $x_{ks} = \Delta_s \min(b_k M_{k-1,s})$.

Если $\sum_s \Delta_s \min(b_k M_{k-1,s}) \leq Q_k$, то $x_{ks}^0 = \Delta_s \min(b_k M_{k-1,s})$. Если же $\sum_s \Delta_s \min(b_k M_{k-1,s}) > Q_k$, то существует δ_k^0 , такое, что $\sum_s x_{ks}(\delta_k^0) = Q_k$ в силу того, что $x_{ks}(\delta_k)$ - непрерывные возрастающие функции δ_k . Таким образом, задача определения объемов x_{ks}^0 на k -м шаге алгоритма свелась к определению одной переменной — уровня δ_k и фактически заключается в решении линейных уравнений с одной переменной.

Пример. Рассмотрим комплекс из четырех операций, данные о которых приведены в табл. 1 ($\tau_i = Q_i / b_i$).

Данные об уровнях ресурсов приведены в табл. 2 (здесь $\theta_s = N_s \Delta_s$).

Таблица 1

I	1	2	3	4
Ti	3	2	4	5
Bi	6	5	4	2
Qi	18	10	16	10
Ci	7	5	4	2

Таблица 2

s	1	2	3
Δ_s	2	3	2
N_s	5	7	10
θ_s	10	21	20

Шаг 1. Рассматриваем первую операцию объема $Q_1=18$. Возьмем $\delta_1=5$.

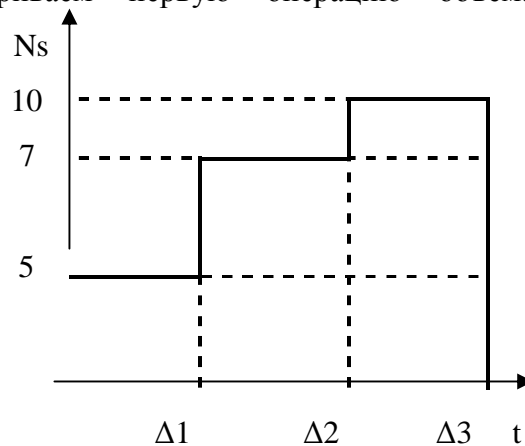


Рис. 1

Из рис. 1 следует, что $x_{11}(\delta_1) = 0$, $x_{12}(\delta_1) = (N_2 - \delta_1)\Delta_2 = 6$, $x_{13}(\delta_1) = (N_3 - \delta_1)\Delta_3 = 10$,

$\sum_s x_{1s}(\delta_1) = 16 < 18$. Поэтому $\delta_1^0 < 5$. В этом случае

$$\begin{aligned}x_{11} &= (N_1 - \delta_1)\Delta_1 = (5 - \delta_1)2, \\x_{12} &= (N_2 - \delta_1)\Delta_2 = (7 - \delta_1)3, \\x_{13} &= (N_3 - \delta_1)\Delta_3 = (10 - \delta_1)2.\end{aligned}$$

Из условия $\sum_s x_{1s}(\delta_1^0) = 18$ получаем $\delta_1^0 = 4\frac{5}{7}$, $x_{11}^0 = 4\frac{4}{7}$, $x_{12}^0 = 6\frac{6}{7}$, $x_{13}^0 = 10\frac{4}{7}$.

Шаг 2. Поскольку остаточные уровни ресурсов $M_{1s} = 4\frac{5}{7}$ для всех s , то сразу получаем

$$x_{21}^0 = w_2 \frac{\Delta_1}{T} = 2\frac{6}{7}, x_{22}^0 = \frac{w_2}{T} \Delta_2 = 4\frac{2}{7}, x_{23}^0 = \frac{w_2}{T} \Delta_3 = 2\frac{6}{7}.$$

Шаг 3. $M_{2s} = 3\frac{2}{7}$ ($s = 1, 2, 3$).

Имеем $x_{31}^0 = \frac{w_3}{T} \Delta_1 = 4\frac{4}{7}$, $x_{32}^0 = \frac{w_3}{T} \Delta_2 = 6\frac{6}{7}$, $x_{33}^0 = \frac{w_3}{T} \Delta_3 = 4\frac{4}{7}$.

Шаг 4. $M_{3s} = 1$ ($s = 1, 2, 3$), поэтому

$$x_{41}^0 = \Delta_1 = 2, x_{42}^0 = \Delta_2 = 3, x_{43}^0 = \Delta_3 = 2.$$

Решение задачи объемов операций имеет вид

$$\begin{aligned}w_1 = Q_1 = 18, \quad w_2 = Q_2 = 10, \quad w_3 = Q_3 = 16, \\w_4 = 7 < Q_4, \quad \sigma(w) = \sum_i c_i(Q_i - w_i) = 6.\end{aligned}$$

Перейдем к обоснованию алгоритма распределения.

Предварительно докажем лемму, позволяющую выбирать любой порядок операций в алгоритме, основанном на правиле МВ.

Лемма. Пусть алгоритм МВ дает решение с максимальным общим объемом выполненных операций при заданном фиксированном порядке рассмотрения операций. Тогда алгоритм МВ дает решение с таким же объемом выполненных операций при любом порядке их рассмотрения.

Доказательство. Пусть $\{x_{ks}^0\}$ — оптимальное решение задачи. Заметим, что это решение можно получить, рассматривая операции в любом порядке и назначая соответствующие значения x_{ks}^0 . Но в силу условий леммы при заданном порядке рассмотрения операций алгоритм МВ дает решение с максимальным общим объемом выполненных операций. Поэтому при любом порядке операций будет получено решение с одним и тем же оптимальным значением общего объема выполненных операций. Заметим, что значения $\{x_{ks}^0\}$ при изменении порядка операций также могут измениться.

Теорема. Алгоритм МВ дает оптимальное решение задачи определения объемов операций.

Приведем схему доказательства. В силу леммы можно выбрать любой порядок рассмотрения операций, например соответствующий номерам операций. Докажем, что для любого шага k алгоритма (рассмотрены первые k операции) объем выполненных операций максимален при заданном порядке их рассмотрения. Для $k=1$ это очевидно в силу правила МВ. Примем, что этот факт справедлив для $k-1$ шагов, и докажем его справедливость для шага k . Очевидно, что максимальный объем k -й операции, который можно выполнить, равен

$$w_k = \min \left[Q_k; \sum_{s=1}^r \min(b_k M_{k-1,s}) \Delta_s \right].$$

Заметим, что если $M_{k-1,s} \geq b_k$ для всех s , то $w_k = \min [Q_k, b_k T]$ и $\sum_{i=1}^k w_i$ максимален.

Если $M_{k-1,s} \leq b_k$ для всех s , то $w_k = \min \left[\sum_{s=1}^r \min M_{k-1,s} \Delta_s, Q_k \right]$ и объем $\sum_{i=1}^k w_i$ максимален.

Ns

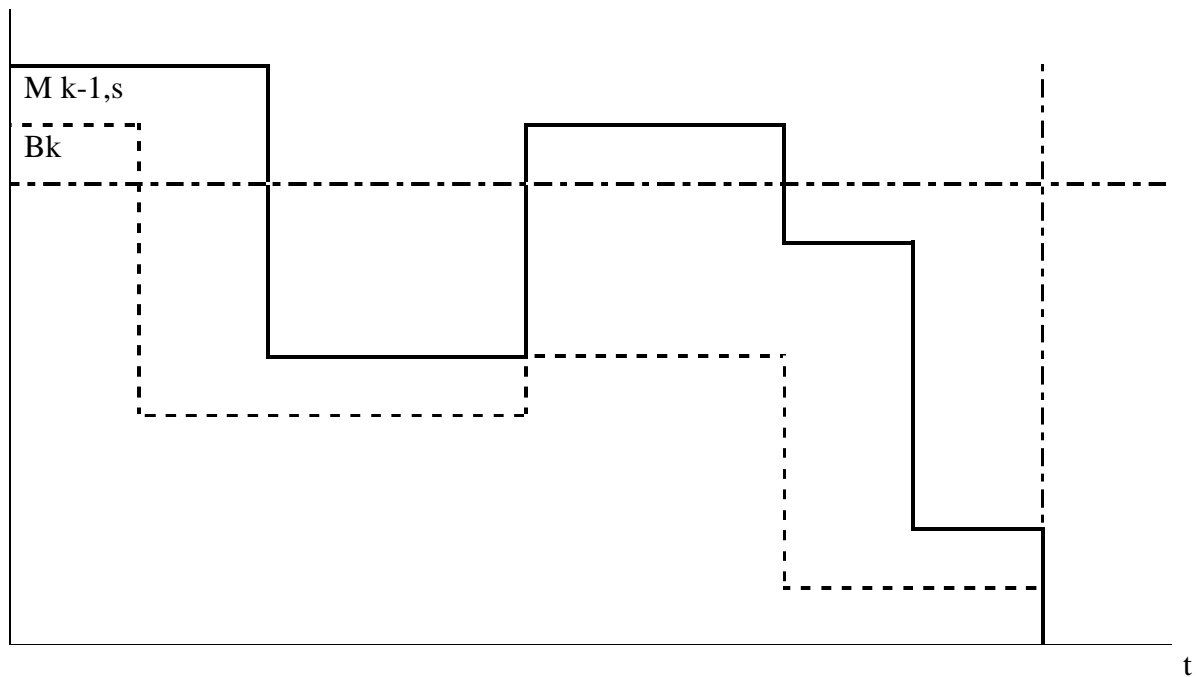


Рис. 2

Осталось рассмотреть случай, когда $M_{k-1,s} < b_k$ хотя бы для одного интервала, а $M_{k-1,s} > b_k$ хотя бы для одного интервала (рис. 2). Увеличение объема выполненных работ $\sum w_i$ ($i=1, 2, \dots, k$) в этом случае возможно только путем увеличения $M_{k-1,s}$ интервалов, в которых $M_{k-1,s} < b_k$ и соответствующего уменьшения $M_{k-1,s}$ интервалов, в которых $M_{k-1,s} > b_k$ (при этом общий объем $\sum w_i$ ($i=1, 2, \dots, k-1$) остается

неизменным). Однако в силу правила МВ уменьшением $M_{k-1,s}$ интервалов, в которых $M_{k-1,s} > b_k$, невозможно (если бы это было возможно, это было бы сделано на предыдущих шагах).

Таким образом, $\sum w_i$ ($i=1, 2, \dots, k$) определяет максимальный общий объем операций за k шагов. Осталось заметить, что объем w_k может быть получен в результате применения правила МВ на k -м шаге. Таким образом, правило МВ максимизирует общий объем выполненных операций, причем порядок рассмотрения операций может быть любым. Рассматривая операции в порядке убывания c_i , получаем оптимальное решение задачи определения объемов операций.

Теорема доказана.

Задача максимальной экономии ресурсов. Ресурсы одного вида. При достаточном количестве выделенных ресурсов и достаточном времени T_{dur} может оказаться, что в оптимальном решении предыдущей задачи объемы всех операций равны максимальным Q_i , а ресурсы использованы не полностью. В этом случае представляет интерес задача максимальной экономии ресурсов. Величину $\eta_s = \left(N_s \Delta_s - \sum_i x_{is} \right) p_s$ будем называть экономией ресурса в s -м интервале, где p_s — коэффициент, характеризующий важность наличия свободных ресурсов в s -м интервале. Поставим задачу распределения ресурсов так, чтобы выполнить все операции в максимальном объеме и получить максимальную экономию. Эта задача эквивалентна следующей: максимизировать

$$a \sum_i Q_i - \sum_{i,s} p_s x_{is} = \sum_{i,s} (a - p_s) x_{is}, \quad (11)$$

где $a > \max_s p_s$, при ограничениях

$$\sum_s x_{is} = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (12)$$

$$\sum_i x_{is} \leq N_s * \Delta_s \quad (s = 1, 2, \dots, r), \quad (13)$$

$$0 \leq x_{is} \leq \Delta_s b_i \quad (i = 1, 2, \dots, n; s = 1, 2, \dots, r). \quad (14)$$

Действительно, целевые функции $\sum_s \eta_s$ и $\sum_{i,s} (a - p_s) x_{is}$ отличаются на постоянную

величину $\sum_s N_s \Delta_s - a \sum_i Q_i$.

Поставим в соответствие задаче максимальной экономии ресурсов некоторую сопряженную с ней задачу определения объемов операций. Для этого рассмотрим комплекс из $n'=r$ операций. Максимальный объем s -й операции равен $Q_s' = \theta_s = N_s \Delta_s$, максимально

допустимое количество ресурсов на ней $b'_s = \Delta_s$, минимальная продолжительность $\tau'_s = N_s$. Количество ресурсов является кусочно-постоянной функцией с $r'=n$ интервалами постоянства длительности $\Delta'_i = b_i$ и уровнем ресурсов в i -м интервале $N'_i = \tau_i$. Коэффициенты функции потерь возьмем $c'_s = a - p_s$. Заметим теперь, что сопряженная задача есть задача определения объемов операций, и отличается от нее только знаком равенства в ограничениях (12). Однако так как все $c'_s > 0$, то можно заменить равенство на неравенство (в оптимальном решении объем выполненных операций будет максимален и равен $\sum_i Q_i$). Применим теперь для решения сопряженной задачи правило МВ. Для исходной задачи максимальной экономии ресурсов это правило можно сформулировать следующим образом: интервалы рассматриваются в очередности убывания $a - p_s$, (или в очередности возрастания p_s). В каждом интервале s объемы x_{is} определяются так, чтобы максимально выровнять величины

$$L_{is} = \tau_i - \frac{1}{b_i} \sum_{j=1}^s x_{ij} \quad (15)$$

(предполагается, что $p_1 \leq p_2 \leq \dots \leq p_r$), определяющие остаточные уровни ресурсов сопряженной задачи. Однако для исходной задачи величины (15) есть не что иное, как известное в теории сетевого планирования и управления понятие степени критичности операций [4]. Таким образом, широко применяемое в эвристических алгоритмах правило распределения ресурсов по степени критичности операции оказывается в данном случае оптимальным. Заметим, что в случае $p_1 \leq p_2 \leq \dots \leq p_r$ (желательна экономия ресурсов в более поздних интервалах) полученное решение определяет минимальную продолжительность комплекса

$$T_{\min} = \sum_{s=1}^r \max \left[\frac{1}{N_s} \sum_i x_{is}; \max_i \frac{x_{is}}{b_i} \right].$$

Список литературы

1. Баркалов С.А. Задача о циркуляции максимального объема. / С.А. Баркалов, С.А. Пузырев, Х.Т. Нгуен. // Экономика и менеджмент систем управления, 4.2(10) "Научная книга". г. Воронеж 2013 г. С. 228-233
2. Баркалов С.А. Задачи синтеза объемов операций в управлении проектами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Д.Н. Золоторев. // Экономика и менеджмент систем управления № 1.2(11), "Научная книга", г. Воронеж 2014 г. С.

3. Баркалов С.А. Сравнение различных методов решения задачи планирования проектных работ. / С.А. Баркалов, М.П. Михин. // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал, №3.1(5) 2012, Научная книга. С. 92-97
4. Бурков В. П. Прикладные задачи теории графов. / В.П. Бурков, И.А. Горгодзе, С.Е. Ловецкий. - Тбилиси: Мецниереба, 1974.
5. Бурков В. Н. Распределение ресурсов как задача оптимального быстрогодействия./ В.Н. Бурков. // Автоматика и телемеханика, 1966, № 7, с. 82—90.
6. Бурков В.Н. Эвристический подход к решению динамических задач распределения ресурсов./ В.Н.Бурков, С.Е. Ловецкий. // Автоматика и телемеханика, 1966, № 5, с. 119-129.
7. Burkov V. N. Problems of optimum distribution of resources./ V.N. Burkov. // Control and Cybernetics, 1972, v. 1, № 1/2, p. 27-41.
8. Прикладные модели в управлении организационными системами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, В.В. Соколовский, Н.А. Шульженко – Тула, 2002

УДК 658.511.2

АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, М.А. Пинаева

ИПУ РАН

Аннотация. Рассматривается задача распределения ресурсов в мультипроекте. Каждый проект представляет собой цепочку из трех работ (этапов). предложены алгоритмы решения для различных случаев: все работы выполняются одним видом ресурсов, работы одного этапа выполняются одним видом ресурсов, а двух других – другим видом, работы каждого этапа выполняются своим видом ресурсов.

Ключевые слова: ресурсы; мультипроект; алгоритм

TASK DISTRIBUTION RESOURCES MULTIPROJECT

S.A. Barkalov, V.N. Burkov, M.A. Pinaeva

ICS RAS

Abstract. In this paper we consider the problem of resource allocation in multiproject. Each project is a chain of three operations (stages). proposed algorithms for solving for a variety of occasions: all work is done one kind of resource, one of the steps are performed one type of resource, and the other two - the other view, the work of each stage performed their resource type.

Keywords: resources; multiproject; algorithm

Введение

Задачи распределения ресурсов в проектах и мультипроектах известны своей сложностью [1, 2 и др.]. Разработка эффективных алгоритмов решения различных частных случаев является актуальной задачей. В статье рассматривается частный случай задачи, когда мультипроект состоит из проектов, каждый из которых представляет собой цепочку из трех работ (этапов). Предлагаются эффективные алгоритмы решения для различных случаев.

Постановка задачи

Рассмотрим мультипроект, состоящий из n проектов. Каждый проект представляет собой последовательную цепочку из трех работ. Для каждой работы задан объем и зависимость $f_{ij}(u_{ij})$ скорости выполнения работы от количества ресурсов u_{ij} , ее выполняющих. Работы могут выполняться ресурсами различных видов, количество которых ограничено. Задача заключается в распределении ресурсов по мультипроекту, минимизирующему его продолжительность.

Задачи в общем случае относятся к так называемым NP -трудным задачам, не имеющим эффективных точных методов решения [1]. Примем, что зависимости $f_{ij}(u_{ij})$ имеют вид

$$f_{ij}(u_{ij}) = \begin{cases} u_{ij}, & u_{ij} \leq a_{ij}; \\ a_{ij}, & u_{ij} \geq a_{ij}. \end{cases}$$

Обозначим $N_j, j=1,2,3$ количество ресурсов j -го вида. Покажем, что существует оптимальное решение, в котором все работы выполняются максимальным количеством ресурсов (возможно с перерывами) за время

$$\tau_{ij} = \frac{W_{ij}}{a_{ij}}.$$

Действительно, пусть не некоторой работе (i, j) $u_{ij} < N_j$ в течение интервала τ . Тогда на какой-либо другой работе (k, j) этого же типа $u_{kj} < N_j$ в течение того же интервала (или на нескольких работах). За время τ будет выполнено $W_{ij} = u_{ij}\tau$ объема работы (i, j) и $W_{kj} = u_{kj}\tau$ объема работы (k, j) . Определим другой календарный план. Сначала ресурсы N_j направляются на работу (i, j) . Объем работ W_{ij} будет выполнен за время

$$\tau_i = \frac{u_{ij}\tau}{N_j} < \tau.$$

Затем ресурсы направляются на работу (k, j) . Объем работы W_{kj} будет выполнен за время

$$\tau_j = \frac{W_{kj}}{N_j} = \frac{u_{kj}\tau}{N_j} < \tau,$$

и работа будет завершена в момент $\tau_1 + \tau_2 = \tau$.

Итак, в новом плане первая работа завершается ранее, а вторая – в то же время. Повторяя эту операцию каждый раз, когда $u_{ij} < N_j$, приходим к плану, в котором для всех работ $u_{ij} = N_j$, если работа выполняется.

В этом случае получаем классическую «задачу о станках», известную своей сложностью [3].

Рассмотрим несколько подклассов.

1. Ограничены ресурсы первого вида, то есть

$$\sum_{i=1}^n a_{i1} > N_1. \quad (1)$$

Ресурсов второго и третьего вида достаточно и соответствующие работы выполняются за минимальные времена τ_{i1} .

2. Ограничены ресурсы второго вида, то есть

$$\sum_{i=1}^n a_{i2} > N_2. \quad (2)$$

Работы первого и третьего типа выполняются за минимальные времена τ_{i2} .

3. Ограничены ресурсы третьего вида, то есть

$$\sum_{i=1}^n a_{i3} > N_3. \quad (3)$$

Работы первого и второго типа выполняются за минимальные времена.

4. Ограничены ресурсы первого и второго вида, то есть имеют место условия (1) и (2).

Работы третьего типа выполняются за минимальное время τ_{i3} .

5. Ограничены ресурсы первого и третьего вида, то есть имеют место условия (1) и (3).

Работы второго типа выполняются за минимальное время τ_{i2} .

6. Ограничены ресурсы второго и третьего вида, то есть имеют место условия (2) и (3).

Работы первого типа выполняются за минимальное время τ_{i1} .

7. Ограничены ресурсы всех видов, то есть имеют место условия (1), (2) и (3).

Рассмотрим методы решения этих подклассов задач.

Подкласс 1. Поскольку ресурсов второго и третьего вида достаточно, то продолжительности работ второго и третьего типа равны соответственно τ_{i2} и τ_{i3} , $i=\overline{1,n}$.

Обозначим

$$q_i = \tau_{i2} + \tau_{i3}. \quad (4)$$

Упорядочим работы по убыванию q_i , то есть $q_1 \geq q_2 \geq \dots \geq q_n$.

Для решения задачи определим двудольную сеть из $2(n+1)$ вершин (рис. 1). Вершины первого слоя сети (не считая вершины – входа) соответствуют проектам, а вершины второго слоя – интервалам времени. Пусть T – момент завершения мультипроекта. Примем пропускные способности дуг $(0, i)$ равными $c_{0i} = W_i$, а пропускные способности дуг (j, z) равными

$$\begin{aligned} c_{1z} &= (T - q_1) N_1 = \Delta_1 N_1; \\ c_{jz} &= (q_{j-1} - q_j) \cdot N_1 = \Delta_j N_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Пропускные способности дуг (i, j) примем равными $c_{ij} = a_{ij} \Delta_j$, $i, j = \overline{1, n}$, $i \geq j$.

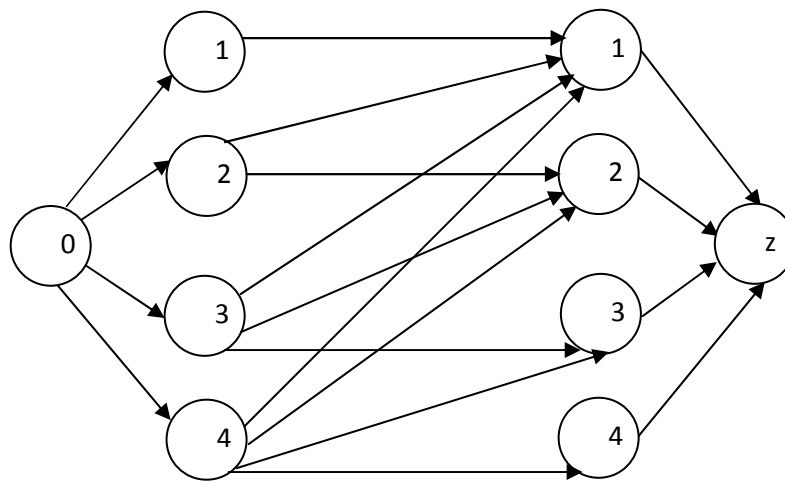


Рис. 1. Двудольная сеть для случая $n = 4$

Определим поток максимальной величины в полученной сети.

Теорема 1. Минимальное T , при котором поток максимальной величины насыщает входные дуги, определяет оптимальное решение задачи.

Доказательство. Пусть T задано. Обозначим x_{is} – объем первой работы i -го проекта, выполняемого в s -м интервале (первый интервал – это интервал $(0, T - q_1)$, второй – это $(T - q_1, T - q_2)$ и т.д.

Для того чтобы все работы были выполнены, необходимо и достаточно выполнение условий

$$\sum_{s=1}^i x_{is} = W_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

При ограничениях

$$\sum_{i=s}^n x_{is} \leq c_{sz}, \quad s = \overline{1, n};$$

$$0 \leq x_{is} \leq c_{is}, \quad i, s = \overline{1, n}.$$

Следовательно, $\{x_{is}\}$ – это поток, и поэтому минимальное T , при котором этот поток насыщает входные дуги соответствует минимальному времени завершения мультипроекта. Теорема доказана.

Оценку снизу для минимальной продолжительности мультипроекта можно получить из условия

$$V_1 = \sum_i W_{i1} \leq \sum_s c_{sz} = (T - q_n) N_1.$$

Получаем

$$T \geq \frac{V_1}{N_1} + q_n. \quad (6)$$

Пример 1. Рассмотрим мультипроект из четырех проектов, данные о которых приведены в табл. 1.

Имеем $q_1=10, q_2=8, q_3=7, q_4=5$.

Пусть $N_1 = 6$. Из условия (6) получаем начальную величину времени завершения мультипроекта:

$$T_1 = \frac{60}{6} = 15.$$

На рис. 2 приведена сеть (числа в скобках равны пропускным способностям).

Максимальный поток равен $58 < V_1 = 60$. Следовательно, T_1 необходимо увеличить.

Заметим, что увеличение T увеличивает пропускные способности только дуг c_{i1} ($i = \overline{1, n}$) и c_{1z} . Минимальное увеличение T составляет

$$\delta = \frac{60 - 58}{N_1} = \frac{1}{3}.$$

Таблица 1

i	1	2	3	4	V_i
W_{i1}	12	10	18	20	60
W_{i2}	18	9	20	12	59
W_{i3}	24	15	8	18	65
a_{i1}	4	2	3	5	
a_{i2}	3	3	4	6	

a_{i3}	6	3	4	6	
τ_{i1}	3	5	6	4	
τ_{i2}	6	3	5	42	
τ_{i3}	4	5	2	3	

Это позволяет увеличить поток по дугам $(0, 1)$, $(1, 1)$ и $(1, z)$ на 2 единицы. Полученный поток насыщает входные дуги. Поэтому получает оптимальное решение с продолжительностью мультипроекта $T_{\min} = 15\frac{1}{3}$.

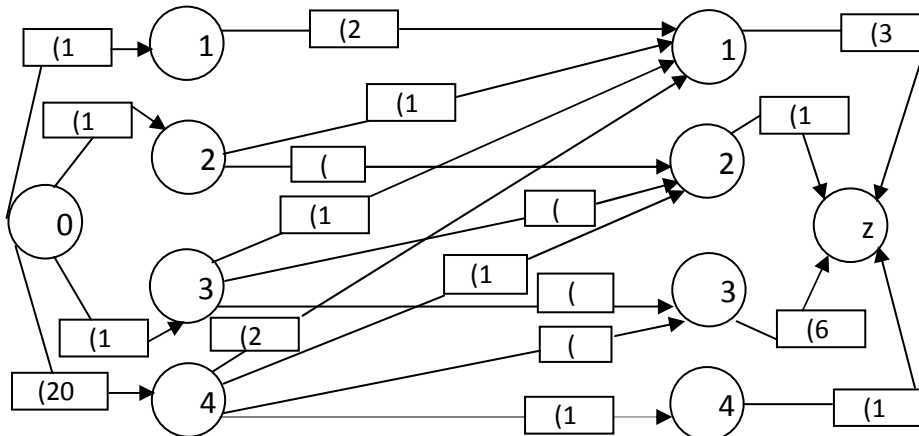


Рис. 2. Сеть для случая $T_1=15$

Подкласс 2. В этом подклассе ограничены ресурсы второго вида. Соответственно продолжительности работ первого и третьего типа равны минимальным τ_{i1} и τ_{i3} . Заметим, что продолжительности τ_{i1} определяют ранние моменты начала работ второго типа, которые равны $t_i^p = \tau_{i1}$, а продолжительности τ_{i3} при заданном T определяют поздние сроки окончания работ второго типа, которые равны $t_i^n = T - \tau_{i3}$. Аналогично подклассу 1 построим двудольную сеть, вершины первого слоя которой соответствуют проектам, а вершины второго слоя – интервалам времени, соответствующим моментам t_i^p и t_i^n , упорядоченным по возрастанию. Способ построения вершин второго слоя покажем на примере.

Пример 2. Возьмем данные примера 1 (табл. 1). Пусть $N_2=6$. Сначала получим оценку снизу для продолжительности мультипроекта. Для этого заметим, что ранний срок начала работ второго типа равен $\tau_{i1}=3$. После завершения всех работ второго типа потребуется не менее $\tau_{i3}=2$ двум единицам времени для завершения мультипроекта. Наконец, выполнение всех работ второго типа потребует не менее

$$T_2 = \frac{V_2}{N_2} = \frac{59}{6} \approx 10.$$

С другой стороны, выполнение 2-й работы i -го проекта с максимальной интенсивностью a_{i2} потребует τ_{i2} единиц времени, что дает минимальную продолжительность i -го проекта

$$T_2 = \tau_{i1} + \tau_{i2} + \tau_{i3}.$$

Таким образом, получаем оценку снизу продолжительности мультипроекта:

$$T \geq \max \left[\min_i \tau_{i1} + \min_i \tau_{i3} + \frac{V_2}{N_2}; \max_i (\tau_{i1} + \tau_{i2} + \tau_{i3}) \right]. \quad (7)$$

Для рассматриваемого примера имеем

$$T \geq \max \left[3 + 2 + \frac{59}{6}; \max (13; 13; 13; 9) \right] \approx 15$$

(с точностью до целых чисел).

Возьмем $T_1 = 15$. В табл. 2 приведены ранние времена начала и поздние времена окончания работ 2-го типа при $T_1 = 15$.

Таблица 2

i	1	2	3	4
t_i^{RN}	3	5	6	4
t_i^0	11	10	13	12

Упорядочим эти моменты по возрастанию:

$$t_1^H < t_4^H < t_2^H < t_3^H < t_1^O < t_4^O < t_3^O$$

и определим длительности Δ_S интервалов между этими моментами (табл. 3).

Таблица 3

S	1	2	3	4	5	6	7
Δ_S	1	1	1	4	1	1	1

Поясним табл. 3. Первый интервал – это $(t_1^H; t_4^H)$ длительности 1, второй – $(t_4^H; t_2^H)$ длительности 1, третий – $(t_2^H; t_3^H)$ длительности 1, четвертый – $(t_2^O; t_3^O)$ длительности 4 и т.д.

Теперь можно построить двудольную сеть. Первый слой вершин, как и ранее, соответствует проектам, а второй слой – интервалам. Дуга (i, s) соединяет вершину i с вершиной s , если работа может выполняться в интервале s (рис. 3).

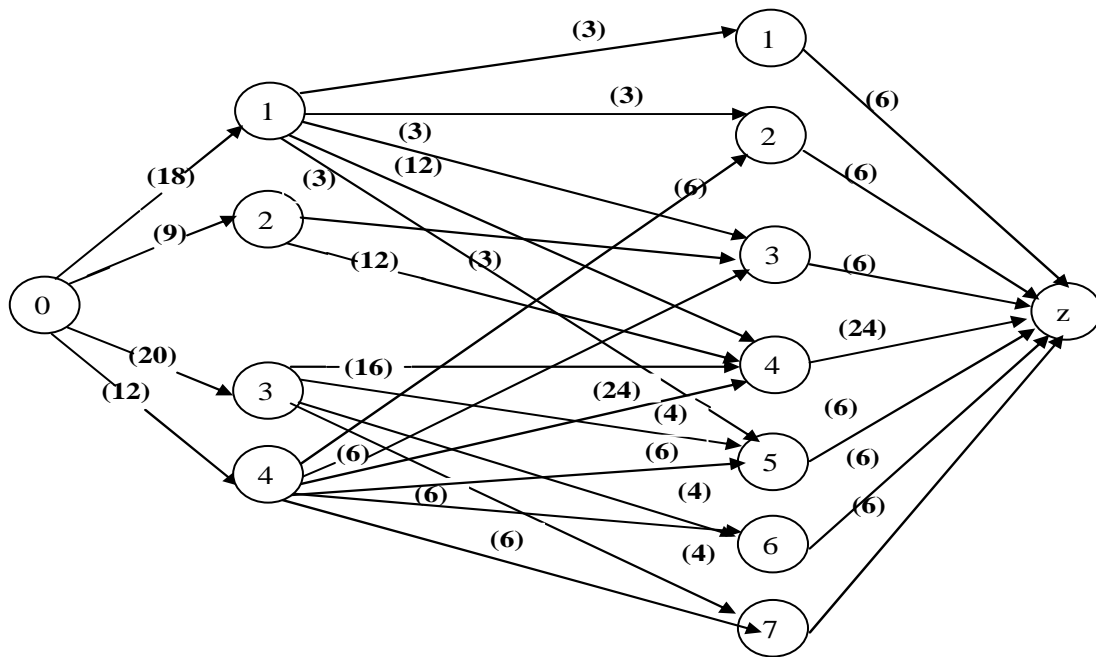


Рис. 3. Двудольная сеть для примера 2

Пропускные способности дуг $(0, i)$ равны объемам W_{i2} соответствующих работ второго типа, пропускные способности дуг (s, z) равны $\Delta_s N_2$, а пропускные способности дуг (i, s) равны

$$c_{is} = a_{i2} \cdot \Delta_s.$$

Легко заметить, что поток максимальной величины в сети рис.2 не насыщает входные дуги. Действительно, в первом интервале недоиспользуется 3 единицы объема ресурсов, а в последнем – 2 единицы. Остается $60 - 5 = 55$ единиц, которых недостаточно для выполнения 59 единиц объема работ. Увеличим T на единицу, что приводит к увеличению на единицу длительности четвертого интервала $\Delta_4 = 5$ и соответственно к увеличению пропускных способностей дуг $(i, 4)$ на a_{i2} и дуги $(4, z)$ на 6. Нетрудно показать, что в этом случае максимальный поток насыщает входные дуги.

Подкласс 3. В этом подклассе ограничены ресурсы третьего вида. Соответственно продолжительности работ первого и второго типа равны τ_{i1} и τ_{i2} . Обозначим $p_i = \tau_{i1} + \tau_{i2}$. Заметим, что $t_i^h = p_i$ определяет ранние сроки начала работ третьего типа. Пусть работы упорядочены по возрастанию p_i , то есть

$$p_1 \leq p_2 \leq \dots \leq p_n.$$

По аналогии с предыдущими случаями строим двудольную сеть, вершины первого слоя, которой соответствуют проектам, а вершины второго слоя – интервалам длительности:

$$\Delta_s = p_{s+1} - p_s, \quad s = 1, n-1;$$

$$\Delta_n = T - p_n,$$

где T – момент завершения мультипроекта. Соответственно определяем пропускные способности дуг, как и в предыдущих случаях:

$$c_{0i} = W_{i3}, \quad c_{sz} = N_3 \cdot \Delta_s,$$

$$c_{is} = a_{i3} \cdot \Delta_s.$$

Минимальное T , при котором максимальный поток насыщает входные дуги, определяет оптимальное решение задачи. Доказательство аналогично Теореме 1. Получим оценку снизу для продолжительности мультипроекта более точную, чем в предыдущих случаях. Для этого определяем минимальный номер r интервала, такой что

$$\sum_1^r a_{i3} > N_3.$$

Определяем объем работ, выполненных за первые $(r-1)$ интервалов. Этот объем равен

$$V_3(r) = \sum_{i=1}^{r-1} \min \left[W_{i3}; a_{i3} \sum_{i=s}^{r-1} \Delta_s \right] = a_{13} \sum_1^{p-1} \Delta_s + a_{23} \sum_2^{p-1} \Delta_s + \dots + a_{p-1,3} \cdot \Delta_{p-1}.$$

Оценка снизу равна

$$T \geq \sum_1^{r-1} \Delta_s + \frac{V_3 - V_3(r)}{N_3} + p_1.$$

Пример 3. Возьмем данные примера 1 (табл. 1). Примем $N_3 = 8$, $r = 2$, $V_3(2) = 12$. Оценка равна

$$T \geq \Delta_1 + \frac{65 - 12}{8} + 6 = 14 \frac{5}{8}.$$

Заметим, что оценка, полученная по аналогии с предыдущими случаями, равна

$$c_1 + \frac{V_3}{N_3} = 6 + \frac{65}{8} = 14 \frac{1}{8} < 14 \frac{5}{8}.$$

Двудольный граф для случая $T = 15$ приведен на рис. 4.

В данном случае максимальный поток насыщает входные дуги и поэтому полученное решение является оптимальным (с точностью до целочисленности T).

Для этого подкласса рассмотрим также нелинейные вогнутые зависимости $f_{i3}(u_{i3})$.

А именно, примем, что

$$f_{i3}(u_{i3}) = u_{i3}^\alpha; \quad i = \overline{1, n},$$

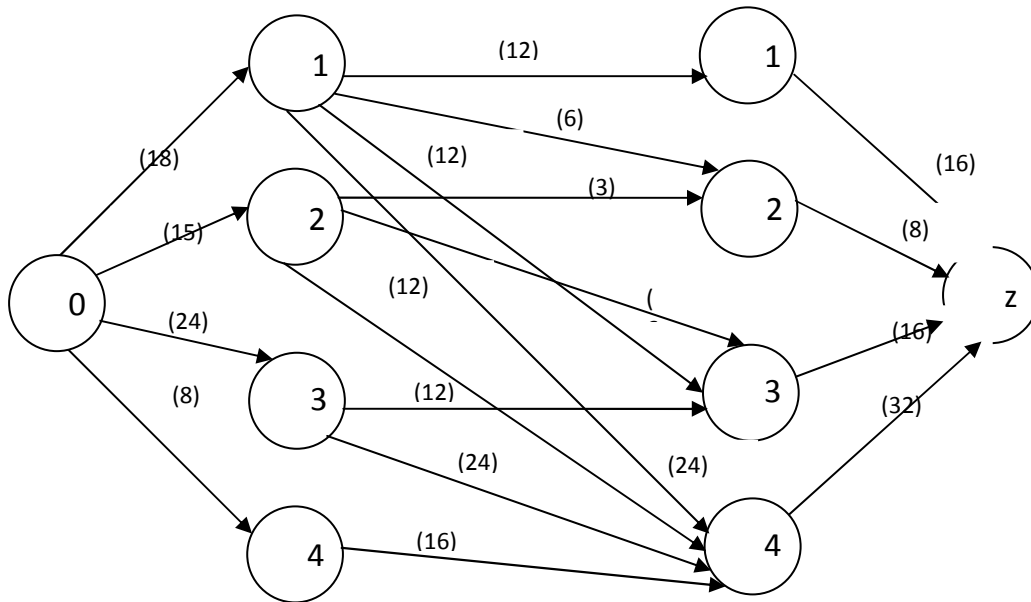


Рис. 4. Двудольный граф для примера 3

где $\alpha < 1$. Для случая $p_i = 0, i = \overline{1, n}$ (то есть отсутствуют работы первого и второго типов) В.Н. Бурковым [2] было доказано, что минимальная продолжительность мультипроекта равна

$$T_{\min} = \frac{W_{\vartheta}}{N_3^{\alpha}}, \quad (8)$$

где $W_{\vartheta} = \left[\sum W_{i3}^{1/\alpha} \right]^{\alpha}$ – эквивалентный объем мультипроекта. (9)

Дадим обобщение этого результата на подкласс 3. Рассмотрим следующий алгоритм распределения ресурсов.

1-й шаг. $t_1 = p_1$. Все ресурсы направляются на работу (1-3).

k-й шаг. $t_k = p_k$. Обозначим $\delta(k-1)$ – эквивалентный объем невыполненных работ $W_i^3, i = \overline{1, k-1}$.

Определяем эквивалентный объем:

$$W_{\vartheta}(k) = \left(\delta^{1/\alpha}(k-1) + W_{k3}^{1/\alpha} \right)^{\alpha},$$

и минимальную продолжительность:

$$\Delta(k) = \frac{W_{\vartheta}(k)}{N_3}.$$

Если $\Delta(k) > p_{k+1}$, то определяем невыполненную часть эквивалентного объема:

$$\delta(k) = W_{\vartheta}(k) - N_3(p_{k+1} - p_k).$$

n-й шаг. Определяем минимальную продолжительность мультипроекта:

$$T_{\min} = \frac{W_{\vartheta}(n)}{N_3}.$$

Теорема 2. Описанный алгоритм дает оптимальное решение задачи.

Доказательство. Докажем теорему по индукции. Теорема, очевидно, справедлива для $n=1, 2$. Предположим, что она справедлива для числа проектов n . Рассмотрим $(n+1)$ проект. Согласно предположению для n проектов, теорема справедлива. Заметим, что продолжительность мультипроекта минимальна, если $\delta(n)$ принимает минимальное значение. Докажем, что описанный алгоритм обеспечивает минимальную величину $\delta(n)$. Это достаточно очевидно, поскольку к моменту p_n выполняется максимальная часть эквивалентного объема $W_{\vartheta}(n)$. Теорема доказана.

Пример 4. Пусть $n=4$, $\alpha=1/2$. Данные о величине p_i и W_{i3} приведены в табл. 4.

Таблица 4

i	1	2	3	4
W_i	10	8	8	6
p_i	2	4	6	7

Пусть $N_3 = 4$.

1 шаг. $t_1 = 2$. Начата работа (1.3). К моменту $p_2 = 4$ выполнено $2 \cdot \sqrt{N_3} = 4$ ед. объема.

Осталось $\delta(1) = 10 - 4 = 6$.

2 шаг. $t_2 = 4$.

$$W_{\vartheta}(2) = \sqrt{36 + 64} = 10.$$

К моменту $p_3 = 6$ выполнено $2 \cdot \sqrt{N_3} = 4$ ед. эквивалентного объема. Осталось $\delta(2) = 10 - 4 = 6$.

3 шаг. $t_3 = 6$.

$$W_{\vartheta}(3) = \sqrt{36 + 64} = 10.$$

К моменту p_4 выполнено $\sqrt{N_3} = 2$ единицы эквивалентного объема. Осталось $\delta(3) = 10 - 2 = 8$.

4 шаг. $t_4 = 7$.

$$W_{\vartheta}(4) = \sqrt{64 + 36} = 10.$$

Минимальная продолжительность мультипроекта

$$T_{\min} = \frac{W_3(4)}{\sqrt{N_3}} + 7 = 12.$$

Подклассы 4, 5, 6 и 7. Задачи этих подклассов не имеют эффективных точных методов решения, и, как правило, для их решения применяются эвристические алгоритмы, алгоритмы локальной оптимизации или генетические алгоритмы. В эвристических алгоритмах распределение ресурсов производится на основе эвристических правил приоритета работ. В основном применяются три правила приоритета [1].

Правило 1 (по степени критичности работ). В первую очередь выполняются работы с максимальной степенью критичности (минимальным поздним сроком начала).

Правило 2. В первую очередь выполняются работы минимальной продолжительности τ_i .

Правило 3. В первую очередь выполняются работы с минимальным поздним сроком окончания.

Поздние сроки начала и окончания работ определяются при продолжительностях всех работ, равных минимальным τ_{ij} и продолжительности проекта:

$$T = \max_i \tau_{i1} + \tau_{i2} + \tau_{i3}.$$

Поздний срок начала работы (i, j) равен

$$t_{ij}^H = T - \sum_{k=j}^3 \tau_{ik},$$

а поздний срок ее окончания

$$t_{ij}^O = T - \sum_{k=j+1}^3 \tau_{ik}.$$

Для работ первого типа

$$t_{i1}^H = T - \tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3},$$

$$t_{i1}^O = T - \tau_{i2} - \tau_{i3}.$$

Для работ второго типа

$$t_{i2}^H = T - \tau_{i2} - \tau_{i3},$$

$$t_{i2}^O = T - \tau_{i3}.$$

Для работ третьего типа

$$t_{i3}^H = T - \tau_{i3},$$

$$t_{i3}^O = T.$$

Выбор правил определяется спецификой конкретной задачи.

Так, если объем работ третьего типа V_3 , превышает объемы работ V_1 и V_2 работ первого и второго типа, то важно как можно скорее начать выполнение работ третьего типа. В этом случае применяется модифицированное правило 2 (в первую очередь выполняются проекты с минимальной суммарной продолжительностью работ первого и второго типов).

Если наибольший объем V_2 имеют работы второго типа, то применяется комбинированное правило. Сначала применяется правило 2, и когда работы второго типа уже выполняются, то применяется правило 3. Если наибольший объем V_1 имеют работы первого типа, то применяется модифицированное правило 3 (в первую очередь выполняются работы первого типа с максимальной суммарной продолжительностью работ второго и третьего типов).

Список литературы

1. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами / С. А. Баркалов [и др.]. – М. 2002. (Научное издание / ИПУ РАН).
2. Минимизация упущенной выгоды в задачах управления проектами. / С. А. Баркалов [и др.]. – М. 2005. (Препринт / ИПУ РАН).
3. Баркалов С.А. Задачи календарного планирования проектных работ в строительстве - МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ. / С.А. Баркалов, М.П. Михин. // Материалы Международной молодежной конференции в рамках фестиваля науки (4 сентября 2012 г.) Воронеж, Научная книга, 2012 С. 224-227
4. Баркалов С.А.. Построение календарного плана при рекомендательных зависимостях между работами / С.А. Баркалов, А.В. Сенюшкин, А.Г. Янин. // Известия КГАСУ, 2011, №3 (17) С. 252-256
5. Задачи распределения ресурсов по множеству независимых строительных проектов - «Системы управления и информационные технологии» / С. А. Баркалов [и др.]. // Научно-техн. журнал 2011г. № 4.1 (46). Москва-Воронеж, Научная книга. С. 115-118
6. Оптимизационные модели и методы в управлении строительным производством / С.А. Баркалов [и др.]. – Воронеж, 2007.
7. Модели и методы распределения ресурсов в управлении проектами / С.А. . Баркалов [и др.]. Рос. Акад. Наук, Ин-т проблем упр. Им. .В.А. Трапезникова – М.: 2004
8. Прикладные модели в управлении организационными системами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, В.В. Соколовский, Н.А. Шульженко – Тула, 2002

ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

С.А. Баркалов, М.А. Пинаева

Воронежский ГАСУ

Аннотация. Рассматриваются задачи оптимальной (по стоимости) застройки района с учетом ограничений на требуемую площадь жилых помещений и на площадь земельного участка, отведенного под строительство жилых зданий. Для решения задач предложен метод дихотомического программирования, а также метод ветвей и границ с получением оценок на основе метода сетевого программирования. Рассмотрены частные случаи задачи.

Ключевые слова: жилые помещения; дихотомическое программирование.

THE PROBLEM OF OPTIMAL DEVELOPMENT OF THE AREA

S.A. Barkalov, M.A. Pinaeva

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Abstract. The article deals with the problem of optimal (cost) development area subject to the restrictions on the required area of dwellings, and in the area of land allocated for the construction of residential buildings. To solve the problems we propose a method of dichotomous programming and branch and bound method to obtain estimates on the basis of network programming. Particular cases of the problem.

Keywords: accommodations; dichotomous programming.

Введение. Задача оптимальной застройки района была поставлена в работе [1], где рассматривается случай линейной зависимости стоимости строительства от числа домов каждого типа. В данной работе результаты [1] обобщаются на случай вогнутых зависимостей стоимости строительства от числа домов каждого типа. Рассматриваются такие частные случаи, когда количества жилой площади для всех домов равны либо площади, требуемые для строительства дома, также равны для всех домов.

Постановка задачи. Имеются m типов (проектов) домов для застройки района. Каждый проект характеризуется величиной себестоимости $c_i(x_i)$, зависящей от числа домов x_i данного типа, включенных в план, и площади помещений s_i , которую он обеспечивает. Если проект i -го типа включен в план, то число домов x_i должно удовлетворять условиям

$$x_i \leq b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

b_i - максимальное число домов i -го типа.

Эти ограничения вызваны в основном эстетическими соображениями. Слишком большое число домов приводит к однообразию застройки.

Поскольку с ростом числа домов удельная стоимость проекта уменьшается за счет экономии на закупках и поставках материалов и комплектующих, совмещения работ и др., то $c_i(x_i)$ вогнутая функция x_i , $c_i(0) = 0$, $i = \overline{1, m}$.

Постановка задачи. Определить $x_i \geq 0$, $i = \overline{1, m}$, минимизирующие

$$C(x) = \sum_{i=1}^m c_i(x_i), \quad (2)$$

при ограничениях (1) и (3)

$$\sum_i s_i \cdot x_i \geq R, \quad (3)$$

где s_i – величина жилой площади i -го дома.

Метод дихотомического программирования. Рассмотрим сначала непрерывный вариант задачи. В этом случае имеет место теорема.

Теорема 1. Существует оптимальное решение, в котором из числа проектов, включенных в план не более чем для одного, число домов меньше максимально допустимого b_i .

Доказательство. Пусть x^0 – оптимальное решение и существуют проекты i, j , такие что

$$0 < x_i^0 < b_i,$$

$$0 < x_j^0 < b_j.$$

Рассмотрим задачу минимизации

$$c_i(x_i) + c_j(x_j)$$

при ограничении

$$s_i x_i + s_j x_j = s_i x_i^0 + s_j x_j^0 = S_{ij}.$$

Это задача минимизации вогнутой функции на отрезке. Как известно, минимум достигается на одной из крайних точек отрезка. Возможны четыре варианта:

$$\begin{aligned} 1. x_i = 0, x_j = \frac{S_{ij}}{s_j}, & \quad 2. x_j = 0, x_i = \frac{S_{ij}}{s_i}, \\ 3. x_i = b_i, x_j = \frac{S_{ij} - s_i b_i}{s_j}, & \quad 4. x_j = b_j, x_i = \frac{S_{ij} - s_j b_j}{s_i}. \end{aligned}$$

Во всех случаях число проектов, для которых число домов, включенных в план, меньше максимального, уменьшилось на единицу.

Теорема доказана.

Пусть проект j – это проект, у которого число домов, включенных в план, меньше b_j . Если исключить этот проект, то для оставшихся проектов получаем задачу с переменными $\{x_i\}$, принимающими значение либо 0, либо b_i , $i = \overline{1, m}$. Решая эту задачу методом дихотомического программирования, получим зависимость минимальных затрат $C_j(Y_j)$, $0 \leq Y_j \leq R$ от площади Y_j , которую обеспечивают проекты, включенные в план, за исключением проекта j .

Оптимальная величина Y_j (и следовательно x_j) определяется из уравнения

$$C_j(R) = \min_{Y_j} [C_j(Y_j) + c_j(R - Y_j)]. \quad (4)$$

Решая задачу для всех $j = \overline{1, m}$ и выбирая наилучший вариант, получаем оптимальное решение.

Пример 1. Имеются четыре проекта, данные о которых приведены ниже (табл. 1).

Таблица 1

$I \backslash x_i$	1	2	3	4	5	s_i
1	5	8	11	14	15	1
2	9	14	17	18		2
3	8	12	14	16		5
4	9	14	18	21	22	4

Примем $R=22$.

I. Исключаем проект 4.

1 шаг. Рассматриваем проекты 1 и 2. Решение приведено ниже (табл. 2). Результаты сведены в табл. 3.

Таблица 2

1	18;8	33;13
0	0;0	15;5
2 / 1	0	1

Таблица 3

№ варианта	0	1	2	3
Затраты	0	15	18	33
Площадь	0	5	8	13

2 шаг. Рассматриваем объединенный проект (1,2) и проект 3. Решение приведено в табл. 4.

Таблица 4

1	18;8	33;13	18;8	33;13
0	0;0	15;5	0;0	15;5
3 / (1,2)	0		2	3

Зависимость $C_4(Y_4)$ имеет вид

Y_4	0	5	8	20
C_4	0	15	18	16

Вычисляем $C_4(R) = \min[15 + 21.25; 18 + 19.5; 16 + 4.5] = 20.5$.

Поясним, как получена эта величина. Заметим, во-первых, что в непрерывной задаче для оптимального решения ограничения (3) всегда выполняются как равенство. Поэтому вариант (31; 25) не рассматриваем. Для варианта (15;5) необходимо добавить 17 ед. площади домов четвертого типа, то есть $x_4 = 4\frac{1}{4}$ дома, из табл. 1 получаем, что дополнительные затраты составят

$$C_4(x_4) = 21 + \frac{1}{4}(22 - 21) = 21.25.$$

Аналогично для варианта (18; 8) необходимо добавить 14 ед. площади домов четвертого типа, то есть $x_4 = 3.5$ дома. Дополнительные затраты составят

$$C_4(x_4) = 18 + \frac{1}{2}(21 - 18) = 19.5.$$

Наконец, для варианта (16; 20) необходимо добавить 2 ед. площади домов четвертого типа, то есть $x_4 = 0.5$ дома. Дополнительные затраты составят

$$C_4(x_4) = 0.5 \cdot 9 = 4.5.$$

II. Исключаем проект 1.

1 шаг. Рассматриваем проекты 3 и 4. Решение приведено в табл. 6. Результаты сведены в табл. 7.

Таблица 6

1	22;20	-
0	0;0	16;20
4 3	0	1

Таблица 7

№ варианта	0	1
Затраты	0	16
Площадь	0	20

2 шаг. Рассматриваем объединенный проект (3,4) и проект 2. Решение приведено в табл. 8.

Таблица 8

1	18;8	-
0	0;0	16;20
2 (3,4)	0	1

Зависимость $C_1(Y_1)$ имеет вид

Y_1	0	20
C_1	0	16

$$C_1(R) = 16 + 8 = 24.$$

III. Исключаем проект 3.

Рассматриваем объединенный проект (1,2) табл. 3 и проект 4. Решение приведено в табл. 9.

Таблица 9

1	22;20	-	-	-
0	0;0	15;5	18;8	33;13
4 (1,2)	0	1	2	3

Зависимость $C_2(Y_2)$ имеет вид

Вычисляем

$$C_3(R) = \min \left[15 + 14 + \frac{4}{5}; 18 + 12 + \frac{8}{5}; 22 + \frac{16}{3} \right] = 25 \frac{1}{5}.$$

Y_2	0	5	8	20
C_2	0	15	18	22

IV. Исключаем проект 2.

Рассматриваем объединенный проект (3,4) и проект 1. Решение приведено в табл. 10.

Таблица 10

1	15;5	-
0	0;0	16;20
1 (3,4)	0	1

Зависимость $C_2(Y_2)$ имеет вид

Y_2	0	15	16
C_2	0	5	20

Вычисляем

$$C_2(R) = \min \left[5 + 17 + \frac{1}{2}; 20 + 17 \right] = 22 \frac{1}{2}.$$

Оптимальный вариант состоит в исключении проекта 4. Затраты равны 20,5. Методом обратного хода определяем оптимальное решение:

$$x_1=0; \quad x_2=0; \quad x_3=4; \quad x_4=0,5.$$

Заметим, что нецелочисленное решение можно превратить в целочисленное. Во-первых, увеличиваем x_4 до ближайшего целого числа $x_4=1$. Затраты увеличиваются до 25. Во-вторых, уменьшаем x_4 до ближайшего целого числа $x_4=0$. При этом площадь уменьшится на $\Delta=2$ единицы. Решаем задачу минимизации

$$c_1(x_1) + c_2(x_2) + c_3(x_3)$$

при ограничении

$$s_1x_1 + s_2x_2 + s_3x_3 = \Delta.$$

Поскольку Δ не превышает s_4 , то задача легко решается перебором. В данном случае оптимальное решение

$$x_1 = 2, c_1(x_1) = 8$$

и совокупные затраты 24.

Как будет показано ниже, это решение является оптимальным. Вычислительные эксперименты показали, что предложенный способ получения целочисленного решения в 90 % случаев дает оптимальное решение.

Заметим, что ошибка уменьшается с ростом R и с уменьшением разницы между s_i . В частности, имеет место теорема.

Теорема 2. Пусть $S_i=s, i = \overline{1, m}$. В этом случае теорема 1 справедлива и для целочисленного решения.

Доказательство. Если $S_i=s, i = \overline{1, m}$, то условие (3) переходит в условие

$$\sum_i x_i \geq \frac{R}{s}, \quad (5)$$

а в этом случае всегда существует целочисленное решение нецелочисленной задачи.

Пример 2. Примем в предыдущем примере $S=3$.

Имеем

$$\frac{R}{s} = \frac{22}{3} = 7\frac{1}{3}.$$

В силу целочисленности ограничение (5) принимает вид

$$\sum_i x_i = 8.$$

I. Исключаем проект 4.

Сразу приведем итоговую таблицу

Y_4	5	8
C_4	15	34

Вариант (4;16) исключаем, поскольку он доминируется вариантом (5;15).

Имеем

$$C_4(R) = \min[15 + 18; 34] = 33.$$

II. Исключаем проект 1.

Итоговая таблица $C_1(Y_1)$ имеет вид

Y_1	4	5	8
C_1	16	22	34

Имеем

$$C_1(R) = \min[16 + 14; 22 + 11; 34] = 30.$$

III. Исключаем проект 3.

Итоговая таблица $C_3(Y_3)$ имеет вид

Y_3	4	5
C_3	18	15

Имеем

$$C_3(R) = \min[18 + 16; 15 + 14] = 31.$$

IV. Исключаем проект 2.

Итоговая таблица $C_2(Y_2)$ имеет вид

Y_2	4	5
C_2	16	15

Имеем

$$C_2(R) = \min[16 + 18; 15 + 18] = 33.$$

Оптимальный вариант:

$$x_1=4; \quad x_3=4;$$

с затратами 30.

Метод ветвей и границ

Рассмотрим применение для решения задачи метода ветвей и границ.

Для получения нижних оценок стоимости строительства производим овыпукление функций затрат (под овыпуклением понимается построение выпуклой функции $\tilde{C}(x)$, максимально близкой к $C(x)$ снизу (рис. 1)).

Будем называть ее оценочной функцией. Ее уравнение

$$\tilde{C}(x) = \frac{c(b)}{b} \cdot x, \quad 0 \leq x \leq b.$$

Достаточно упорядочить проекты по убыванию $q_i = \frac{c_i(b_i)}{b_i \cdot S_i}$ и включать в план проекты согласно этому упорядочиванию до тех пор, пока не будет выполнено ограничение по жилой площади застройки.

Оценочная задача в непрерывном случае легко решается.

Описание алгоритма

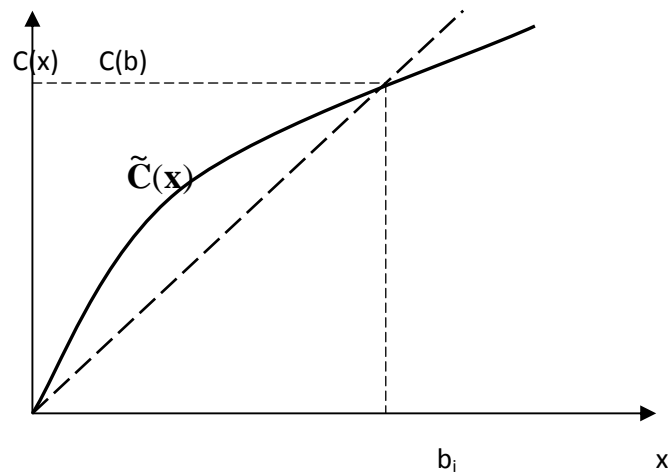


Рис. 1

Предварительный шаг. Решаем оценочную задачу. Если получено решение x^0 , такое что $C_i(x_i^0) = \tilde{C}_i(x_i^0)$ для всех i , то это решение является оптимальным. В противном случае переходим к шагу 1.

1 шаг. Выбираем проект, для которого $C_i(x_i^0) > \tilde{C}_i(x_i^0)$. Делим множество всех решений на два подмножества. В первом подмножестве $x_i \leq [x_i^0]$, а во втором $x_i \geq x_i^0$, если x_i^0 - целое и $x_i \geq [x_i^0] + 1$, если x_i^0 - не целое.

Решаем оценочные задачи для каждого подмножества. Овыпукление функции $C_i(x_i)$ для каждого подмножества показано на рис. 2.

Выбираем подмножество с меньшей оценкой. Если для этого подмножества в решении x^1 оценочной задачи имеет место $\tilde{C}_i(x_i^1) = c_i(x_i)$ для всех i , то решение является оптимальным. В противном случае продолжаем ветвление.

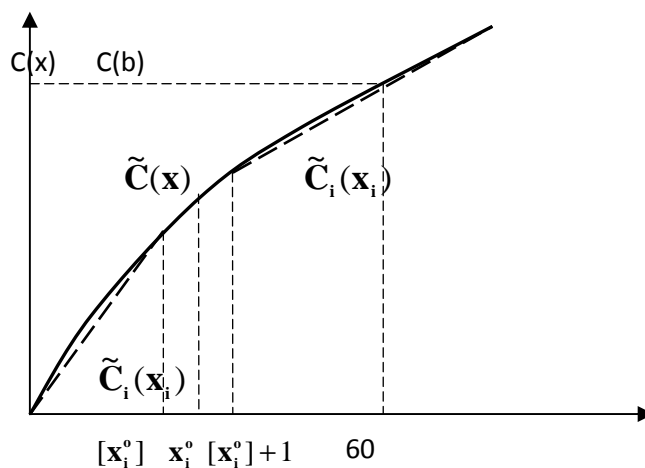


Рис. 2

Пример 2. Рассмотрим пример с данными табл. 1.

Предварительный шаг.

Вычисляем:

$$q_1 = \frac{15}{5 \cdot 1} = 3, \quad q_2 = \frac{18}{4 \cdot 2} = 2\frac{1}{4}, \quad q_3 = \frac{16}{4 \cdot 5} = \frac{4}{5}, \quad q_4 = \frac{22}{4 \cdot 5} = 1\frac{1}{10}.$$

Имеем

$$q_3 < q_4 < q_2 < q_1,$$

$$x_3 = 4, \quad x_3 s_3 = 20 < R = 22,$$

$$x_4 = \frac{22 - 20}{s_4} = 0.5.$$

Оценка Q равна

$$Q = 16 + 0.5 \frac{22}{20} = 16.55.$$

1 шаг. Поскольку $\tilde{C}_4(x_4) \neq C(x_4)$, то ветвимся по проекту 4. Разделяем множество всех решений на два подмножества. В первом $x_4=0$, а во втором $x_4 \geq 1$.

Оценка первого подмножества ($x_4=0$):

$$x_3 = 4, \quad x_2 = \frac{22 - 20}{s_2} = 1.$$

Оценка

$$Q(x_4 = 0) = 16 + 2 \frac{1}{4} = 18\frac{1}{4}.$$

Оценка второго подмножества ($x_4 \geq 1$):

$$x_4 = 1, \quad x_3 = \frac{22 - 4}{5} = 3.6.$$

$$Q(x_4 \geq 1) = 9 + 3.6 \cdot 4 = 23.4.$$

Выбираем первое подмножество.

2 шаг. Поскольку $\tilde{C}_2(x_2) < C_2(x_2)$, то ветвимся по проекту 2. Делим множество $Q(x_4 = 0)$ на два подмножества. В первом $x_2 \leq 1$, а во втором $x_2 \geq 1$.

Оценка первого подмножества ($x_2 \leq 1$):

$$x_3 = 4, \quad x_1 = Z_1.$$

Оценка

$$Q(x_4 = 0, x_2 \leq 1) = 16 + 6 = 22.$$

Оценка второго подмножества ($x_2 \geq 1$):

$$x_3 = 4, \quad x_2 = 1.$$

$$Q(x_4 = 0, x_2 \geq 1) = 25.$$

Эта оценка достижима. Выбираем подмножество ($x_4 = 0, x_2 \leq 1$) с минимальной оценкой 22.

3 шаг. Поскольку $\tilde{C}_1(x_1) < C_1(x_1)$, то делим это подмножество на 2. Оценка первого подмножества ($x_1 \leq 2$).

Вычисляем:

$$x_3 = 4, \quad x_1 = 2.$$

$$Q(x_4 = 0; x_2 \leq 1; x_1 \leq 2) = 16 + 8 = 24.$$

Эта оценка достижима.

Оценка второго подмножества ($x_2 \geq 2$).

Вычисляем:

$$x_3 = 4, \quad x_1 = 2.$$

$$Q(x_4 = 0; x_2 \geq 2; x_1 \geq 2) = 24.$$

Полученное решение является допустимым.

Выбираем подмножество ($x_4 \geq 1$) с оценкой 23,4. Заметим, однако, что в целочисленной задаче затраты также должны быть целым числом. Поэтому оценка подмножества ($x_4 \geq 1$) равна 24 и, следовательно, решение $x_3 = 4, x_1 = 2$ является оптимальным. Для проверки существования других оптимальных решений продолжим ветвление.

4 шаг. Поскольку $\tilde{C}_3(x_3) < C_3(x_3)$, то делим подмножество ($x_4 \geq 1$) на два.

Оценка подмножества ($x_4 \geq 1; x_3 \leq 3$).

Имеем

$$x_3 = 3, \quad x_4 = 1\frac{3}{4}.$$

$$Q(x_4 \geq 1; x_3 \leq 3) = 14 + 9 + \frac{13}{4} \cdot \frac{3}{4} = 25 \frac{7}{16}.$$

Оценка подмножества ($x_4 \geq 1; x_3 = 4$).

Имеем

$$x_3 = 4, \quad x_4 = 1.$$

$$Q(x_4 \geq 1; x_3 \geq 3) = 16 + 9 = 25.$$

Таким образом, решение $x_3 = 4, x_1 = 2$ является единственным оптимальным решением. Дерево ветвлений приведено на рис. 3.

Учет ограничений на площадь земельного участка. Учет ограничений на площадь земельного участка приводит к дополнительному ограничению. Обозначим t_i - площадь, требуемую для строительства дома i -го типа, N - общая площадь, отведенная под строительство жилых домов.

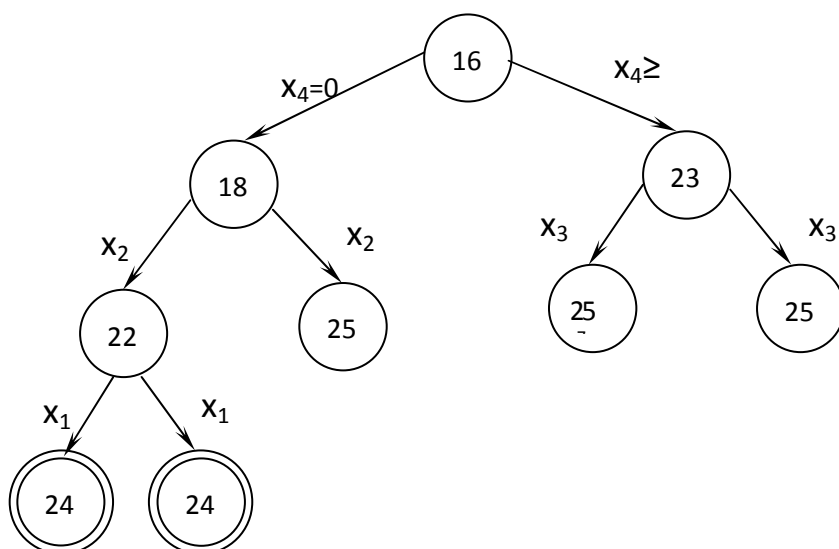


Рис. 3

Ограничение имеет вид

$$\sum_{i=1}^m t_i x_i \leq N. \quad (6)$$

Получили задачу целочисленного программирования с двумя линейными ограничениями. Для решения задачи можно применить стандартные программные продукты по решению задач целочисленного программирования.

Заключение. Рассмотренные постановки задач не учитывают ряда фактов. Во-первых, затраты на строительство дома зависят не только от проекта, но и от земельного участка, на котором будет осуществляться строительство. Во-вторых, следует учитывать риски, связанные со строительством. Учет этих факторов требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Баркалов С.А. Задачи календарного планирования проектных работ в строительстве / С.А. Баркалов, М.П. Михин. // МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ. Материалы Международной молодежной конференции в рамках фестиваля науки (4 сентября 2012 г.) Воронеж, Научная книга, 2012 С. 224-227
2. Баркалов С.А. Сравнение различных методов решения задачи планирования проектных работ (Печатный) / С.А. Баркалов, М.П. Михин // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал, №3.1(5) 2012, Научная книга. С. 92-97
3. Баркалов С.А. Построение календарного плана при рекомендательных зависимостях между работами (Печатный) / С.А. Баркалов, А.В. Сенюшкин, А.Г. Янин. // Известия КГАСУ, 2011, №3 (17) С. 252-256
4. Баркалов С.А. Повышение надежности производственной программы организации работ на предприятии (Печатный) / С.А. Баркалов, В.Г. Тельных, Ю.Б. Потапов. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. Выпуск №4 (24), 2011 г. С. 221-228
5. Баркалов С.А. Разработка календарных планов выполнения строительно-монтажных работ (Печатный) / С.А. Баркалов, Н.Д. Чередниченко. // Технология и организация строительного производства, № 1(6), МГСУ 2014 г. С. 41-46
6. Баркалов С.А. Оптимизация объемов работ в управлении проектами. (Печатный) / С.А. Баркалов. // Экономика и менеджмент систем управления. Журнал. №2(12), 2014 г. 2014 г. (7 экземпляров).
7. Баркалов С.А. Оптимизация объемов работ в управлении проектами. (Печатный) / С.А. Баркалов, В.Л. Порядина, Д.Н. Золоторев. // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. 2(12) 2014 г. (1000 экземпляров) С. 11-20
8. Баркалов С.А. Задачи оптимальной застройки района. (Печатный) / С.А. Баркалов, В.Л. Порядина, Д.Н. Золоторев. // Экономика и менеджмент систем управления № 2.1(12) 2014 г. С. 205-215
9. Баркалов С.А. Теория и практика управления качеством в социально-экономических системах. (Печатный) / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, Л.Р. Маилян. // "Научная книга" г. Воронеж 2013 г. (500 экземпляров) С. 580
10. Модели и методы управления проектами при организационно-технологическом проектировании строительства (Печатный) / С.А. Баркалов [и др.] . - М.: г. Воронеж 2013 г. (150 экземпляров) С. 533

11. Прикладные модели в управлении организационными системами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, В.В. Соколовский, Н.А. Шульженко – Тула, 2002

12. Подрядные торги в строительстве / Учеб. Пособие / В.Р. Дорожкин, В.В. Гасилов, С.А. Баркалов; М-во образования Рос. Федерации. Воронеж. Гос. архит.-строит. ун-т. Воронеж, 2003

УДК 336.5:69

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ПРЕДПРИЯТИЙ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА**

О.Н. Бекирова, О.Ю. Корчевский

Воронежский ГАСУ

Аннотация. Рассмотрена методика, позволяющая определять комплексную конкурентоспособность предприятия строительной индустрии в определенном временном интервале.

Ключевые слова: строительная индустрия, модель оценки конкурентоспособности.

**DEVELOPMENT AND EVALUATION COMPETITIVENESS OF ENTERPRISES IN
THE FIELD OF CONSTRUCTION**

O.N. Bekirova, O.Yu. Korchevskiy

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Abstract. The technique, which allows to define a comprehensive enterprise competitiveness of the construction industry in a certain time interval.

Keywords: construction industry, evaluation model of competitiveness.

Основными предпосылками построения методики оценки конкурентоспособности строительных предприятий являются:

- значимость задачи оценки конкурентоспособности строительных предприятий в условиях усиления конкуренции и динамичного развития факторов внешней среды;
- недостаточная теоретическая и практическая проработанность методов и моделей оценки конкурентоспособности строительных предприятий;
- необходимость практического внедрения результатов теоретических исследований в области оценки конкурентоспособности строительного предприятия с целью обеспечения его жизнеспособности в долгосрочном аспекте.

Нами предлагается методика решения поставленной задачи, в основе которой следующие принципы (схема представлена на рисунке 1):

1) необходимость анализа финансового состояния предприятия, с помощью которого возможна первичная диагностика его конкурентного положения и отсеивание заведомо предкризисных организаций;

2) обеспечение взаимосвязи вопросов оценки конкурентоспособности предприятия и производимой им продукции для получения комплексной характеристики положения данного предприятия на конкурентном рынке;

3) проведение классификации предприятий по критериям, характерным для строительного производства, так как в случае использования любых других показателей оценка получится необъективной;

4) определение конкурентоспособности строительной продукции во взаимосвязи с ценообразованием.

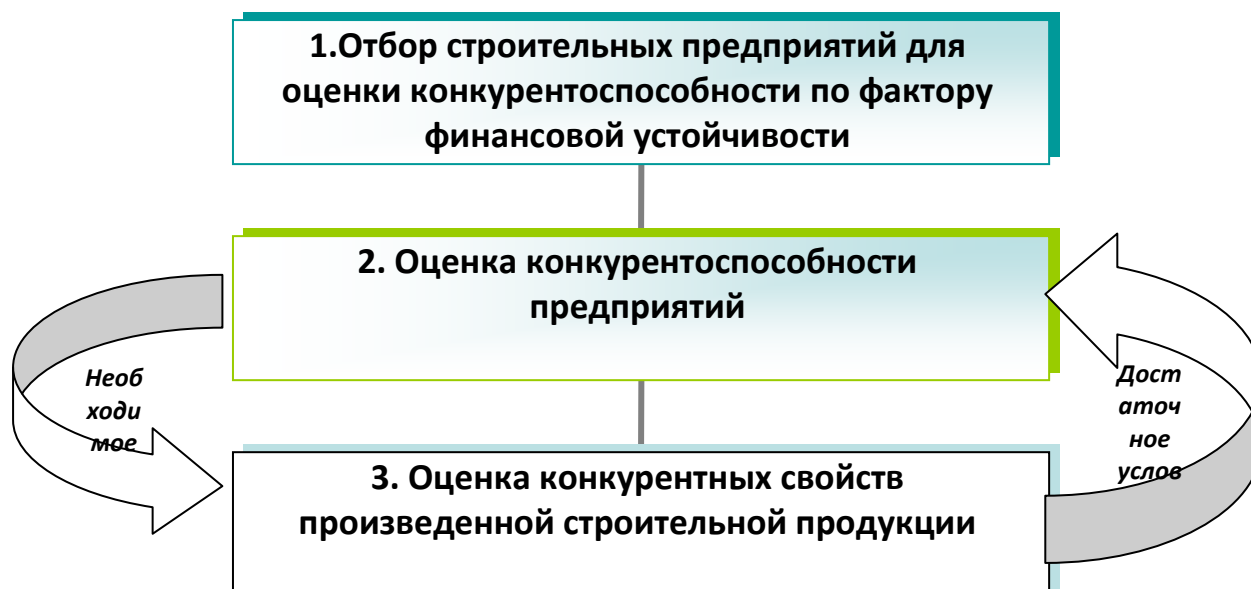


Рис.1. Методика оценки конкурентоспособности предприятий в сфере строительства

Сущность методики заключается в том, что на первом этапе осуществляется оценка финансовой устойчивости, которая из общей выборки предприятий исключает заведомо неконкурентоспособные. Далее необходимо произвести отбор критериев, характерных для строительного производства, построить обучающую выборку, на основании которой будут определены оптимальные интервалы изменения выбранных критериев. В продолжение производится детализация, т. е. ранжирование строительных предприятий внутри определенного класса. В заключение необходимо привести рекомендации по повышению уровня конкурентоспособности предприятия.

В первую очередь необходимо понимать, что минимальным условием конкурентоспособности предприятия является его финансовая устойчивость, т. е. необходимо выяснить, в состоянии ли предприятие аккумулировать на своих счетах денежные средства в количестве, достаточном для погашения своих обязательств.

Финансовое положение любого предприятия является его основной характеристикой, которая отражает его деловую активность и стабильность. Оно предопределяет конкурентоспособность, являясь гарантом эффективности деятельности предприятия. Устойчивость – процесс противостояния предприятия отрицательным внешним и внутренним воздействиям, выводящим его из состояния равновесия. Важно понимать под финансовой устойчивостью не только состояние безубыточности, но и процесс стабильного развития, которое невозможно без учета обратной связи, отражающей изменения внешних и внутренних факторов.

Для этого воспользуемся моделью динамической устойчивости. В условиях строительного производства финансовая устойчивость строительного предприятия характеризуется возможностью в пределах интервала планирования обеспечить положительное сальдо денежного потока. Следует иметь в виду, что данный показатель является комплексным, т. е. учитывающим основные аспекты деятельности строительного предприятия. С одной стороны, способность предприятия производить продукцию с последующей реализацией будет характеризовать производственную и маркетинговую деятельность, с другой – умение трансформировать строительную продукцию в денежные потоки и затем распределять эти потоки во времени и по обязательствам, будет характеризовать эффективность менеджмента данного строительного предприятия.

Именно поэтому на первом этапе анализа предлагается провести первичный отбор предприятий. При этом из выборки исключаются финансово неустойчивые предприятия.

В случае если данное условие соблюдено, можно проводить последующую оценку и сравнительный анализ конкурентоспособности предприятия (рисунок 2).

Дальнейшую оценку конкурентоспособности строительных предприятий предлагается проводить по схеме, представленной на рисунке 3.

Для проведения дальнейшей оценки конкурентоспособности строительных предприятий в первую очередь необходимо выбрать минимальный набор показателей, которые будут наиболее полно и объективно отражать реальное положение предприятия, а также учитывать специфику строительной сферы. Анализ различных методик, рассмотренных выше, позволяет сделать вывод о значимости следующих сфер деятельности предприятия: хозяйственная, управленческая, финансовая. Каждую из них можно охарактеризовать некоторым набором показателей.

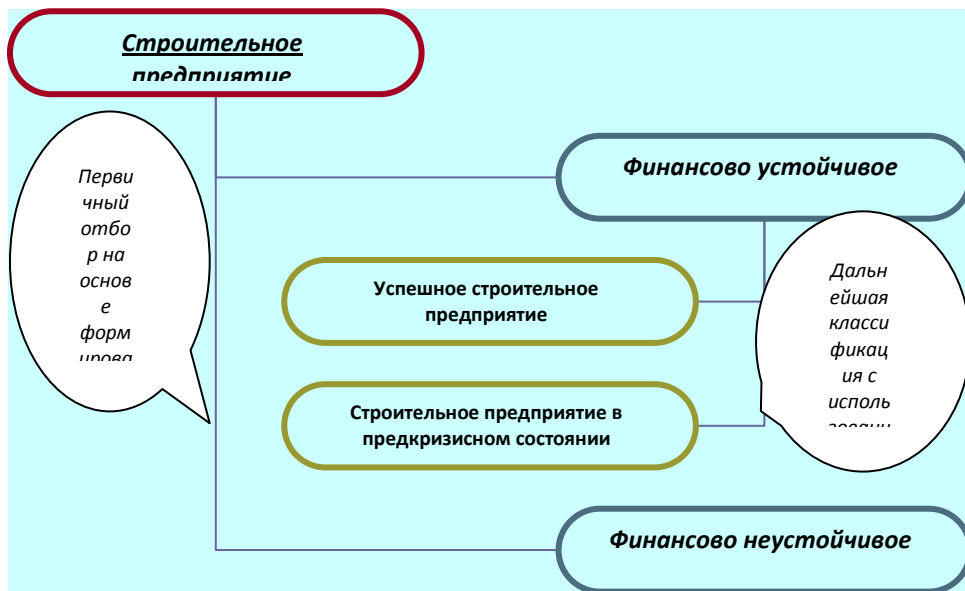


Рис.2. Классификация строительных предприятий в зависимости от уровня конкурентоспособности

Набор этих показателей может быть различным, а процедура отбора таких факторов носит неформальный характер, что зависит от конкретных условий. Для определения набора показателей, обеспечивающих оценку производственно-хозяйственной деятельности строительных предприятий, предлагается использовать экспертную процедуру, которая будет проводиться в два этапа: на первом этапе, используя метод коллективной генерации идей, сформируем наиболее полный набор показателей, а на втором – отберем наиболее информативные из них.

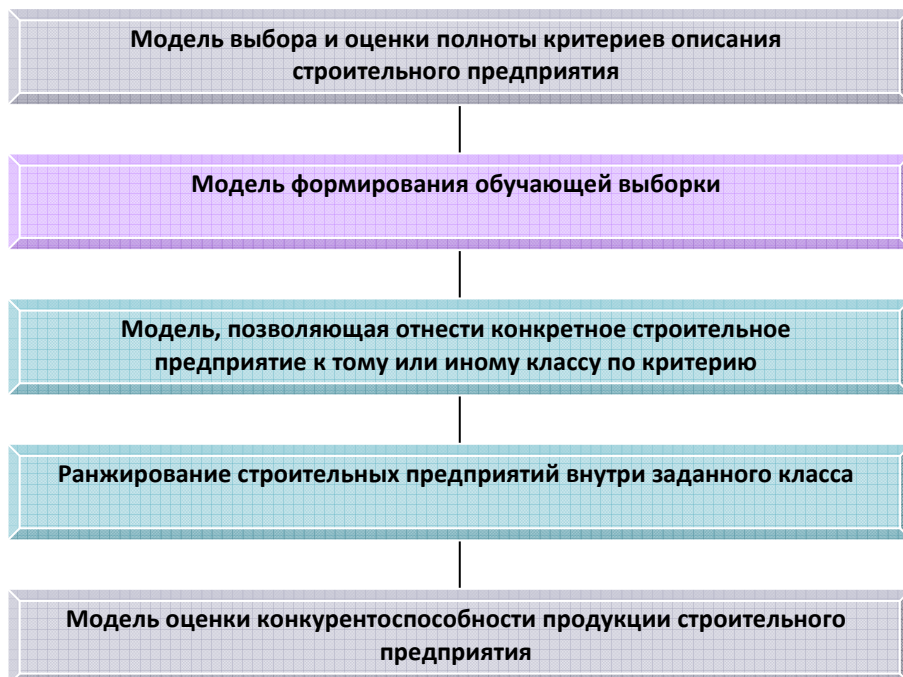


Рис.3. Методика оценки конкурентоспособности строительного предприятия

Таким образом, необходимо решить следующую задачу: выбрать подмножество критериев, наилучшим образом описывающих разделение множества на два класса.

На втором этапе необходимо провести формирование обучающей выборки, так как большинство алгоритмов оценки, основанных на методике распознавания, требуют ее наличия для настройки решающих правил. Необходимо создание такой выборки с учетом особенностей строительной сферы. Эта процедура проводится в два этапа: на первом осуществляется отбор строительных предприятий, соответствующих поставленной задаче, а на втором этапе – разделение массива данных на две группы предприятий, примерно однородных по финансово-экономическому состоянию.

Для проведения классификации строительных предприятий по критерию конкурентоспособности предлагается воспользоваться одним из методов кластерного анализа.

В широком смысле в научной литературе под кластерным анализом понимают многомерную статистическую процедуру, предназначенную для сбора данных, характеризующих объект, и далее упорядочение этих объектов в сравнительно однородные группы [2]. В основном кластерный анализ проводят в несколько этапов. На первом проводят отбор самой выборки и определяют переменные, по которым будут оцениваться объекты. В нашем случае это показатели конкурентоспособности предприятия. В заключение проводится расчет значений той или иной меры сходства между объектами, и на основании полученных данных делается вывод об отнесении объекта к той или иной сходной группе.

Главным требованием метода является однородность и полнота переменных, описывающих объекты в выборке. Наиболее распространенными методами кластерного анализа являются: вероятностный, который предполагает, что исходный объект заведомо относится к одному из заявленных классов; методы, основанные на использовании систем искусственного интеллекта; логические методы, использующие дерево решений; теоретико-графовый подход; иерархический подход и т.д. [2].

Предлагается использовать вероятностный подход, а точнее метод, основанный на использовании средних расстояний, которые рассчитываются с помощью евклидовой метрики.

Соответственно, на третьем этапе реализации нашей методики предлагается разделить строительные предприятия на кластеры по уровню конкурентоспособности.

Оценка конкурентоспособности строительного предприятия – это относительный показатель, который определяется на базе сравнения данного предприятия с другими, поэтому чем большее количество предприятий участвуют в сравнении, тем более точной

будет оценка конкурентоспособности конкретного предприятия. В ходе проведения данной классификации предлагается также провести проверку достаточности критериев, используемых для оценки конкурентоспособности конкретного строительного предприятия. Отметим, что достаточно часто на практике при проведении оценочных мероприятий приходится сталкиваться с тем, что часть информации об объектах носит нечеткий характер, и поэтому приходится прибегать к процедурам экспертного опроса с целью получения данных, позволяющих «оцифровать» лингвистические характеристики. Наиболее распространенным является метод парных сравнений, т. е. каждому эксперту предлагается оценить степень превосходства сравниваемых объектов по рассматриваемому критерию с дальнейшей оцифровкой результатов.

На четвертом этапе предлагается определить положение конкретного предприятия внутри определенного класса, т. е. провести ранжирование строительных предприятий от наилучшего к наихудшему.

Проведя перечисленные процедуры, получим оценку конкурентоспособности рассматриваемых строительных предприятий, которая позволит не только отнести каждое предприятие к заранее выделенному классу, но и определить положение предприятия по отношению к другим внутри класса.

Заключительным этапом является формирование рекомендаций по повышению уровня конкурентоспособности строительного предприятия. Для этого используем принцип: задачи повышения конкурентоспособности предприятия и конкурентоспособности производимой им продукции являются взаимосвязанными.

Как говорилось выше, для успешного функционирования любого предприятия необходимо умение переводить произведенную продукцию в деньги. Наибольшее значение для потребителя строительной продукции имеют качество и цена. В строительстве за качеством следят государственные комиссии, действующие и принимающие решения на основе СНиПов (строительные нормы и правила) [1]. Необходимо отметить, что на данный момент качество строительной продукции остается на достаточно низком уровне, следовательно, потребитель при выборе строительной продукции в первую очередь будет опираться на цену.

Заметим, что достаточно высокий спрос на строительную продукцию дает возможность строительным предприятиям не акцентировать свое внимание на качестве возводимых объектов. Поэтому в сложившейся ситуации главным критерием, определяющим потребительский выбор, выступает цена на продукцию.

Очевидно, чем выше конкурентоспособность предприятия, тем более конкурентоспособную продукцию теоретически оно может выпускать и, как следствие,

удерживать наиболее привлекательный сегмент рынка, являясь при этом лидером по ценообразованию на рынке. Соответственно, для повышения конкурентоспособности строительному предприятию предлагается разработать стратегию на основе экономико-математической модели, которая позволит учесть конкурентные преимущества производимой продукции и уровень цен. Чем выше точность оценок конкретных свойств продукции, существенных для потребителя, тем выше вероятность того, что предприятие станет лидером на рынке. Тем самым, повысив качество производимой продукции, можно назначить цену с учетом конкурентных преимуществ продукции и повысить прибыль. И что самое главное, повысить конкурентоспособность своей продукции и конкурентоспособность самого предприятия соответственно.

Таким образом, предложенная методика оценки конкурентоспособности строительных предприятий учитывает специфику строительной сферы, позволяет определить рейтинг участников строительного рынка и предложить практические рекомендации по повышению уровня конкурентоспособности.

Список литературы

1. Методические указания по определению сметной прибыли в строительстве (МДС 81-25.2001) / Госстрой России. – М., 2001. – 15 с.
2. Бекирова О.Н. Моделирование процесса ценообразования на различных этапах жизненного цикла товара / О.Н. Бекирова, В.Н. Колпачев, П.Н. Курочка, В.В. Шумарин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5. – № 11. – С. 223-227. (авторских – 0,125 п.л.)
3. Бекирова О.Н. Формирование массива показателей, характеризующих деятельность строительного предприятия / О.Н. Бекирова // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. – 2013. – № 1(7). – С. 16-27. – 0,7 п.л.
4. Бекирова О.Н. Оценка емкости рынка жилья на примере Воронежского региона / Ю.А. Ахенбах, О.Н. Бекирова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Том 7, № 9. – С. 164-168. (авторских – 0,2 п.л.)
5. Бекирова О.Н. Двухэтапная модель формирования обучающей выборки для оценки деятельности строительного предприятия / О.Н. Бекирова // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. – 2013. – № 4(10). – С. 16 – 25. – 0,6 п.л.
6. Бекирова О.Н. Модель оценки деятельности строительного предприятия / О.Н. Бекирова, Ю.Ф. Тельнов // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. – 2013. – № 4.1(10). – С. 123 – 130. (авторских – 0,125 п.л.)

7.Бекирова О.Н. Конкурентный анализ и управление конкурентоспособностью предприятия / Ю.А. Ахенбах, С.А. Баркалов, О.Н. Бекирова, Ф.И. Рагимов. – Воронеж: Научная книга, 2012. (авторских – 3,125 п.л.)

8.Дубров, А. М. Многомерные статистические методы / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 352 с.

УДК 004.9 + 517.2

**ЛАГРАНЖЕВ АНАЛИЗ КОНЕЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

С.Л. Блюмин, К.В. Серова, А.С. Сысоев

Кафедра прикладной математики

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Россия, г.Липецк

kaf-pm@stu.lipetsk.ru

***Аннотация:** в статье приводится развитие методов лагранжева анализа конечных изменений для исследования развития предприятия металлургической отрасли. Также описывается возможность выработки управляющих решений на основе исследования финансовых показателей организации с целью оптимизировать и снизить расходы компании, улучшить процесс ее функционирования.*

***Ключевые слова:** лагранжев анализ конечных изменений, рентабельность, металлургическая промышленность.*

**LAGRANGE ANALYSIS OF FINITE FLUCTUATIONS FOR STUDING DEVELOPMENT
OF METALLURGY INDUSTRY**

Bluymin S.L., Serova K.V., Sysoev A.S.

Department of Applied Mathematics

Lipetsk State Technical University

***Abstract:** the aim of the paper is to implement the Lagrange analysis of finite fluctuations for a research the financial position of a metallurgical plant. Also in this paper we consider the possibility of supporting the adoption of effective managerial decision by analyzing the financial indicators of the object of research in order to optimize and reduce costs, to improve the functioning of the organization based on the obtained theoretical and numerical justifications.*

***Keywords:** Lagrange analysis of finite fluctuations, profitability, metallurgy industry.*

1. Введение

В современных условиях развития страны одной из отраслей специализации России является национальная металлургическая промышленность. Вопрос о мерах по развитию металлургии является чрезвычайно актуальным в связи с замедлением темпов роста производства в отрасли, которая играет важную роль в формировании макроэкономических показателей Российской Федерации [1]. Перед принятием необходимых преобразований требуется комплексный анализ результатов работы предприятия. Его результатом должна стать информация, описывающая принципы и возможности работы компаний для их дальнейшего развития. Таким образом, очевидным становится факт внедрения эффективных систем и методик, к которым можно отнести и экономический факторный анализ предприятий [5].

Экономический факторный анализ предполагает разложение целого на части и их изучение как составных частей целого [3,5]. Здесь появляется очевидность применения методов лагранжева анализа конечных изменений, который подразумевает последующую оценку влияния совокупности факторов на резульативный показатель некоторой экономической модели.

2. Конечные различительные исчисления

Анализ конечных изменений берет свое начало в работах по экономическому факторному анализу [3] для оценки экономических потерь в ходе процесса управления энергопотребления крупным промышленным предприятием, получает обобщение и развитие, как инструмент, в том числе анализа технических систем в работе [7].

2.1. Формы оценки изменения величины. Наиболее популярной формой оценки изменения величины в классическом математическом анализе является разность или приращение (аддитивный различитель): $\Delta x = x - x_0$. Причем, центральная абстракция математического анализа - понятие бесконечности, в частности, бесконечно малые приращения аргументов функций в предельном переходе при вычислении производных. Однако такое использование бесконечности противоречит реальным процессам, приращения параметров в которых могут быть хоть и малы, но конечны.

Естественная форма оценки конечного различителя в виде конечного приращения далеко не единственна. Например, в качестве оценки конечного изменения может быть использовано и конечное частное (индекс, мультипликативный различитель):

$i_x = \frac{x}{x_0}$, $x_0 \neq 0$. Такой подход к определению форм конечного изменения величин в виде

конечных разностей и конечных частных даже лег в основу целой теории - квантового

анализа со своим аналогом дифференцирования, построенного на различительных производных [4].

2.2. Классическое ньютоновское различительное исчисление и его альтернативы.

Определим вектор начальных состояний некоторой системы $x^0 = (x_1^0, \dots, x_n^0)$, а также вектор значений ее конечных состояний $x = (x_1, \dots, x_n)$. Тогда классический аддитивный различитель определяется операцией, обратной к сложению, - вычитанием - следующим образом $\Delta x = (x_1 - x_1^0, \dots, x_n - x_n^0)$.

Функция $\varphi(x)$, удовлетворяющая условию $\Delta f = \varphi(\Delta x)$, является аддитивным гомоморфизмом функции f в поле действительных чисел, удовлетворяет первому функциональному уравнению Коши [2] и имеет структуру:

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot x_i. \quad (1)$$

Модель (1) есть решение основной простейшей задачи классического аддитивного (ньютоновского) различительного исчисления - поиска зависимости аддитивного различителя функции от аддитивных различителей ее аргументов.

Второе функциональное уравнение Коши задает зависимость мультипликативного различителя функции от аддитивного различителя ее аргументов, а его решение имеет структуру:

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n k_i^{x_i}, \quad (2)$$

являющуюся решением основной задачи мультипликативного различительного исчисления.

Существуют также третье и четвертое функциональные уравнения Коши, решения которых задают мультипликативно-аддитивное и аддитивно-мультипликативное различительные исчисления. Соответствующие модели представлены в [7].

3. Лагранжев анализ конечных изменений

Под лагранжевым анализом конечных изменений понимают анализ функций, описывающих динамику различных экономических, социальных, технических систем и технологических процессов, с целью выявления влияния конечных изменений значений аргументов (факторов) на конечное изменение значения функции (показателя). Истоки анализа конечных изменений лежат в экономическом факторной анализе.

Рассмотрим модель $f(x_1, \dots, x_n)$, характеризующую динамику показателя некоторой системы или процесса. В начальный момент своего функционирования параметры системы имели значения x_1^0, \dots, x_n^0 , показатель - $f(x_1^0, \dots, x_n^0)$, состояние системы изменилось,

параметры претерпели изменения и получили значения $x_1^0 + \Delta x_1, \dots, x_n^0 + \Delta x_n$, показатель - $f(x_1^0 + \Delta x_1, \dots, x_n^0 + \Delta x_n)$.

В классическом математическом анализе существует функция $\varphi(x)$, имеющая структуру (1). Это - теорема Лагранжа о конечных приращениях (средней точке, промежуточной точке):

$$\Delta f(x) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x + \alpha \cdot \Delta x)}{\partial x_i} \Delta x_i. \quad (3)$$

Частные производные по факторам модели (3) носят название коэффициентов факторного влияния, и указывают на тот вклад, который вносит конечное приращение соответствующего фактора в конечное приращение показателя. Оценивая эти коэффициенты, можно построить систему рекомендаций по функционированию изучаемой системы или процесса.

Выполнив над моделью (3) простейшие алгебраические преобразования, включающие логарифмирование и потенцирование различителей функции и ее аргументов, приходим к аналогу теоремы о конечных приращениях - теореме о конечных частных:

$$if(x) = \prod_{i=1}^n (ix_i)^{\gamma_i}, \quad (4)$$

где $\gamma_i = \frac{\xi_i}{f(\xi_1, \dots, \xi_n)} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_i}(\xi)$, $\xi_i = x_i^0 + \alpha \cdot \Delta x_i$. Параметр γ_i - эластичность i -ого фактора.

Эластичность показывает, на сколько изменится значение показателя при 1%-ном изменении значения соответствующего фактора.

4. Исследование развития металлургической промышленности

Металлургическая промышленность является базовой отраслью хозяйственной деятельности России, поэтому вносит значительный вклад в развитие экономики страны, оказывая влияние на прирост ВВП и других макроэкономических показателей. Исследование данной темы даёт широкую возможность для применения анализа конечных изменений в качестве эффективной методики для оценки производственно-финансовой деятельности не одного предприятия, а Российской Федерации в целом.

С целью реализации единой государственной политики в решении проблемы динамичного развития металлургической промышленности России на период до 2020 года и в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации от 9 февраля 2009 г. №ИС-П9-659 Министерством промышленности и торговли РФ был утвержден приказ: «Стратегия развития металлургической промышленности России на период до 2020 года» [1]. Несмотря на адаптацию металлургической промышленности к рыночным условиям, ее

технико-технологический уровень и конкурентоспособность ряда видов металлопродукции нельзя считать удовлетворительными.

Вопрос о мерах по развитию металлургии является чрезвычайно актуальным в связи с замедлением темпов роста производства в отрасли, которая играет важную роль в формировании макроэкономических показателей Российской Федерации [1]. Перед принятием необходимых преобразований требуется комплексный анализ результатов работы предприятия [6].

В системе показателей эффективности деятельности предприятий важнейшее место принадлежит рентабельности. Оно представляет собой такое использование средств, при котором организация не только покрывает свои затраты доходами, но и получает прибыль. Данное качество придает рентабельности, с одной стороны, форму экономической категории, выражающей экономические отношения между экономическими субъектами по поводу результативности использования факторов капитала, а с другой - характер объекта и инструмента финансового менеджмента. Рентабельность продаж вычисляется как отношение чистой прибыли к выручке (нетто) от всех видов продаж.

Формула расчета показателя рентабельность продаж [5]:

$$ROS = \frac{NI}{NS} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где *ROS* - рентабельность продаж (*Return on Sales*); *NI* - чистая прибыль (*Net Income*); *NS* - выручка (нетто) от всех видов продаж (*Net Sales*).

С помощью полученных формул и, как следствие, расчетов, была определена степень влияния факторов на конечное изменение результирующего показателя. Таким образом, можно сделать вывод о том, что на отклонение рентабельности продаж значительно повлияло изменение чистой прибыли, что может являться причиной стремительного роста исследуемого коэффициента к предельно допустимой норме для предприятий в Российской Федерации. Тем не менее, плановое и фактическое значения показателя рентабельности свидетельствуют о рациональной структуре капитала [6].

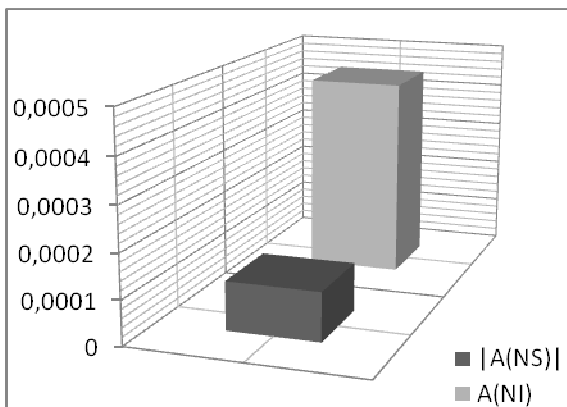


Рис.1. Диаграмма значений коэффициентов факторного влияния

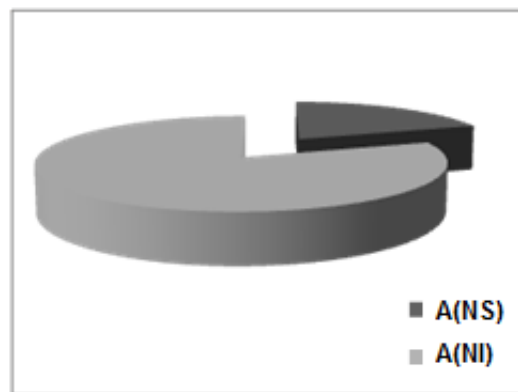


Рис.2. Гистограмма долей оценок факторного влияния

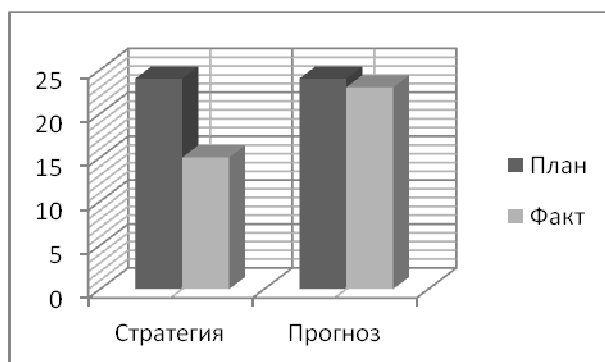


Рис.3. Диаграмма результатов исследования рентабельности по стратегии развития металлургической промышленности РФ

Использование расчетов по данным Стратегии развития металлургической промышленности позволило сравнить реальное значение рентабельности продаж черной металлургии за исследуемый период. При этом, стоит отметить, что вместо оценочных 15%, значение этого показателя превзошло данную отметку и остановилось на 23% [1].

Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках перечня научно-исследовательских работ базовой части государственного задания, проект № 970.

Список литературы

1. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 18 марта 2009 г. №150 об утверждении стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 года.
2. Ацел Я. Функциональные уравнения с несколькими переменными / Я. Ацел, Ж. Домбр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 432 с.
3. Блюмин С.Л. Экономический факторный анализ: Монография / С.Л. Блюмин, В.Ф. Суханов, С.В. Чеботарев. Липецк: ЛЭГИ, 2004. - 148 с.

4. Кац В.Г. Квантовый анализ / В.Г. Кац, П. Чен. М.:МЦНМО, 2005. - 128 с.

5. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. М.: - ИНФРА-М, 2009. – 536 с.

6. Серова К.В. Лагранжев анализ конечных изменений в исследовании финансового состояния организации / Управление большими системами (УБС'2014): материалы XI Всерос. школы-конференции молодых ученых, 9-12 сентября 2014г., Арзамас. – М.: ИПУ РАН, 2014. - С. 53-72.

7. Сысоев А.С. Моделирование и оптимизация систем с переменной структурой методами идемпотентной математики и анализа конечных изменений [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. - Воронеж, 2014. - 129 с.

УДК 331.108.2/3 , 519.8

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Л.М. Боева, О.Н. Основина

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол

boeva@inbox.ru

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы эффективного распределения персонала организаций, специализирующихся в разработке и реализации проектной документации на реконструкцию, техническое и технологическое переоснащение действующих объектов металлургического производства.*

***Ключевые слова:** Проектирование, распределение персонала, многокритериальная задача о назначениях, эффективность назначения.*

OPTIMIZE THE DISTRIBUTION OF PROJECT ORGANIZATIONS STAFF

L. M.Boeva, O. N.Osnovina

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of
Science and Technology "MISiS", Stary Oskol

boeva@inbox.ru

***Abstract.** The questions of efficient distribution of staff organizations, specializing in the development and implementation of project documentation for reconstruction, technical and technological re-equipment of existing facilities of metallurgical production.*

Keywords: *designing, distribution of staff, multicriteria assignment problem, efficiency destination.*

В условиях современной экономической реальности многие металлургические предприятия осознают важность проведения технического перевооружения производства и вкладывают серьезные финансовые средства в его модернизацию. Это обуславливает растущий спрос на услуги проектных организаций, специализирующихся на предоставлении комплекса инжиниринговых услуг в части разработки и реализации проектной документации на реконструкцию, техническое и технологическое переоснащение, развитие действующих объектов металлургического производства [1].

Проектные работы в зависимости от их масштаба и сложности выполняются на уровне специализированных проектных, изыскательских, научно-исследовательских организаций различных форм (институты, управления, конструкторские бюро), а также силами проектно-конструкторских отделов предприятий, служб главных специалистов, отдельных цехов. Одним из путей повышения эффективности деятельности проектного коллектива независимо от его уровня является внедрение системы бережливого проектирования, описывающей множество взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов и образующих единое целое – планирование, разработку и реализацию проектной документации, которые позволяют выполнять проекты высокого качества, с наименьшими затратами, в полном объеме и к заданному сроку [2].

Минимизировать потери времени и качества при разработке и выпуске проектной документации возможно за счет применения жесткой стандартизации компонентов проекта, процессов, профессиональных знаний и навыков инженеров, равномерности процесса разработки проектной документации. Последнее достигается в том числе путем детального календарно-сетевого планирования процесса проектирования с учетом норм технического проектирования и рациональной загрузки специалистов в увязке с остальными проектами.

Проектирование – это процесс взаимосвязанного комплекса работ коллектива специалистов. Перед руководителями проектов регулярно возникает проблема эффективного распределения персонала по проектам и должностям. Задача распределения прав, обязанностей, работ между членами коллектива, в решении которой участвует руководитель, ответственный за это распределение, весьма распространена среди задач управления организациями. Рациональный руководитель обязан учитывать взаимное соответствие предъявляемых требований и возможностей по их удовлетворению (соответствие требований, предъявляемых работодателями, и возможностей выполнения работ исполнителями). Задача поиска оптимального решения в случае достаточно большого числа сотрудников с учетом их квалификации, должности и специализации, занятости в других

проектах, множественности и многообразия проектов трудоемка и трудно разрешима из-за многофакторности и нелинейностей в критериях оптимизации.

Классическая задача о назначениях – одна из фундаментальных задач комбинаторной оптимизации в области математической оптимизации или исследовании операций, определяет степень соответствия элементов двух множеств - субъектов и объектов (исполнителей и работ). Причем, если их число совпадает, то задача называется линейной задачей о назначениях. На практике это условие не всегда выполняется. Один исполнитель участвовать в выполнении нескольких работ, и наоборот, на одну работу может быть назначено несколько исполнителей.

При решении многокритериальной задачи о назначениях (МЗН) каждый субъект и каждый объект характеризуются оценками по совокупности критериев и в общем случае не существует набора очевидных назначений. В связи с этим возникает ряд вопросов: при какой степени несоответствия характеристик элементов двух множеств допустимо образование пары, формирующей решение; к какому из нескольких объектов ближе по характеристикам конкретный субъект и наоборот; какая из двух сравниваемых между собой пар предпочтительна в окончательном решении.

Предъявляя требования к качеству назначений, т.е. к степени соответствия характеристик элементов двух множеств, допустимой при образовании пар, руководитель организации (ЛПР) формирует область допустимых решений (ОДР), стремясь к одному из возможных решений, при котором нельзя улучшить качество назначения для какой-либо пары элементов, не ухудшив при этом качество назначений для других пар. Эти решения считаются эффективными. Во многих задачах организационного управления именно удовлетворенные пары объект-субъект создают обстановку, способствующую наибольшей производительности деятельности.

В исследовании операций известна задача о назначениях с одним критерием качества решения [3]. В ней задана стоимость образования той или иной пары (стоимость исполнения каждой из работ каждым из исполнителей). Критерием является минимум стоимости выполнения всей совокупности работ. Для решения однокритериальной задачи применяются различные методы, как правило, основанные на алгоритмах дискретного программирования. Многокритериальная задача более сложная. Она занимает промежуточное положение между задачами принятия индивидуальных и коллективных решений.

В рамках МЗН содержится несколько существенно различающихся по своим особенностям типов задач, требующих разных подходов к их решению. По характеру различают уникальные задачи, для которых решение каждой новой задачи требует осуществить весь комплекс подготовки исходных данных заново (разработка критериев,

шкал), и повторяющиеся МЗН, требующие периодического решения с одним и тем же набором критериев, но различающиеся составом субъектов, объектов и набором экспертных оценок. Другим основанием классификации служит размерность МЗН. В задачах о назначениях количество элементов может меняться от десятков до тысяч, а число критериев – от трех–четырёх до десяти и более, при этом количество оценок на шкалах, как правило, три–пять [4,5].

В зависимости от типа задач, исходных данных и предпочтений ЛПР выбираются решающие правила и алгоритмы, реализация которых приводит к окончательному варианту решения МЗН. Наиболее приемлемым для рассматриваемой многокритериальной задачи назначения персонала (формирования проектных групп) из числа специалистов необходимых специальностей и квалификации представляется подход имитационного моделирования с поэтапной оптимизацией распределения, предложенный в [6].

Множеством объектов и субъектов рассматриваемой задачи является множество проектов $\{p_l\}, l = \overline{1, L}$ и множество сотрудников $\{c_k\}, k = \overline{1, K}$. Сотрудники характеризуются определенной квалификацией - набором проектных умений, необходимых для эффективного исполнения проекта $\{d_i\}, i = \overline{1, I}$ (знания и навыки, специализация, опыт, ответственность, дисциплина и соблюдение норм трудовой этики, подход к выполнению работы, ориентация в работе на требования заказчика, стремление к техническому совершенствованию, готовность брать ответственность за допущенные ошибки и т.д.). Выполнение проектов требует множества проектных должностей $\{s_j\}, j = \overline{1, J}$ (руководитель проекта, специалист, консультант).

В качестве критерия эффективного назначения выбрана производственная функция:

$$F = \sum_{l=1}^L a_l \left(\prod_{j=1}^J (f_{klj} g_k)^{\alpha_{lj}} - b_l \right),$$

где a_l – вес (стоимость) l -ого проекта;

$$f_{klj} = \prod_{i=1}^I \min\left(\frac{x_{kji}}{y_{lji}}; 1\right) - \text{соответствие по квалификации (соответствие } k\text{-ого сотрудника}$$

проектным требованиям l -ого проекта по j -ой специализации), где x_{kji} описывает актуальное значение i -ой характеристики k -го сотрудника по j -ой проектной специализации, $x_{kji} \in [0; 1]$; y_{lji} описывает проектные требования по i -ой характеристике сотрудника в j -ой проектной специализации для l -го проекта. $y_{lji} \in [0; 1]$;

$g_k = \min\left(\frac{1}{\sum_{l,j=1}^{L,J} z_{klj}}; 1\right)$ – соответствие по загрузке, где z_{klj} – загрузка k -го сотрудника в l -ом

проекте по j -ой специализации, $Z_{klj} \in [0; 1]$;

α_{lj} – значимость j -ой проектной роли в l -ом проекте ($\sum_{j=1}^J \alpha_{lj} = 1$);

b_l – критическая эффективность l -ого проекта, при которой достигается нулевая точка окупаемости.

На первом этапе алгоритма рассчитывается предельная проектная эффективность

$$F = \sum_{l=1}^L a_l (1 - b_l).$$

На втором этапе проводится выбор последовательности назначения должностей путем упорядочивания проектных ролей для всех проектов по убыванию показателя эластичности – $a_l \alpha_{lj}$.

На третьем этапе осуществляется назначение сотрудника на должность по правилу $z_{klj} = T_{lj}$, где T_{lj} – проектные требования по загрузке в l -ом проекте по j -ой специализации. $t_{lj} \in [0; 1]$ ($t_{lj}=0$ – загрузка не требуется, $t_{lj}=1$ – требуется максимальная загрузка). При назначении определяется соответствие по загрузке и соответствие по квалификации и пересчитывается проектная эффективность. Оптимизация на этом шаге состоит в выборе сотрудника, назначение которого минимально снижает проектную эффективность (принцип соответствия проектным квалификациям и наличия резервного времени у сотрудника).

На четвертом этапе выполняется оптимизация производственной функции путем сравнения ее значений при парных заменах сотрудников.

В реальной ситуации решение подобной МЗН требует помощи СППР. В структуре СППР должны быть базы данных (содержательная постановка задачи, сведения об объектах и субъектах, критерии оценки и их шкалы, количественные оценки элементов двух множеств) и базы знаний (оптимизационная модель, алгоритм поиска наилучших паросочетаний, модель выявления предпочтений ЛПР в случае наличия нескольких равноэффективных решений). Такая система позволит руководителю проектного коллектива поэтапно анализировать проблему и вырабатывать свои предпочтения в процессе интерактивной работы с системой, что приведет к принятию рациональных решений по распределению сотрудников и формированию проектных групп.

Список литературы

1. В.А. Авдеев, В.М. Дряян, Б.И. Кудрин Основы проектирования металлургических заводов, М., 2002.
2. Иванов С. В. Управление проектированием горно-металлургических предприятий: Бережливый подход // Аргументы недели. Енисей. 14.12.2012.
3. Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1973.
4. Blanco T., Hilleary C. A Sea Story: Implementing the Navy's Personnel Assignment System // Oper. Res. 1994. V . 42. №. 5 .
5. Черняк Л., Сердечкина Н., Кожухаров А., Патрикеева Т. Модель процесса подготовки рукописей в издательстве // Алгоритмы и модели управления в технических и организационных системах. М : Наука, 1976.
6. Завальный П.Н., Силантьев А.Ю. Оптимизация проектного управления. Загрузка персонала // Теория активных систем. Труды международной научной-практической конференции. Москва, 2005.

УДК 621.787.6; 004.942

АЛГОРИТМЫ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОЦЕССА ВИБРОУДАРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA

О.А. Верзилина

Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова;

Ю.Р. Копылов, С.Ю. Копылов

Воронежский государственный технический университет.

Аннотация. В статье рассматривается постановка алгоритма сокращения времени моделирования процесса виброударного упрочнения, при помощи графических ускорителей (GPU) программной платформы NVIDIA CUDA.

Ключевые слова: виброударное упрочнение, NVIDIA CUDA, GPU.

THE ALGORITHMS REDUCE THE TIME OF VIBRO-IMPACT PROCESS OF HARDENING USING NVIDIA CUDA

O.A. Verzilina

Starooskolsky technological Institute named after A.A. Ugarov

Y.R. Kopylov, S.Y. Kopylov

Voronezh State Technical University

Abstract. The article discusses the formulation of the algorithm reduce the time of simulation of vibro-impact process of hardening, using the graphics accelerator (GPU) software platform NVIDIA CUDA.

Key words: vibroshock hardening management, NVIDIA CUDA, GPU

Развитие архитектуры вычислительных систем – это постоянный поиск баланса свойств, оптимальных для множества целевых приложений. Устройство архитектуры GPU(графических ускорителей) можно кратко охарактеризовать как «макроархитектуру вычислительного кластера, реализованную в микромасштабе». GPU состоит из однородных вычислительных элементов с общей памятью. Каждый вычислительный элемент способен исполнять тысячи потоков, переключение между которыми не имеет накладных расходов. Потоки могут быть сгруппированы в блоки, имеющие общий кэш и быструю разделяемую память, явно контролируемую пользователем. Данная реализация в сочетании с расширениями для процедурных языков программирования носит название Compute Unified Device Architecture(CUDA).

Моделирование процесса виброударного упрочнения крупногабаритных деталей авиационной промышленности на конечном множестве ее участков на равномерность формирования параметров качества поверхностного слоя является очень востребованной и актуальной задачей. Вследствие отсутствия кинематической связи инструментальной среды с деталью, экспериментальное и аналитическое исследование таких систем, обладающих сильной нелинейностью, затруднительно.

Имеющиеся на сегодняшний день программы моделирования процесса виброударного упрочнения в плоском сечении (2D) и псевдо-трехмерные, осуществляют моделирование 2. секунд стационарного процесса виброударного упрочнения стойки шасси в течение более 2-х часов (табл. 1).

Табл. 1. Время моделирования задачи.

Устройство	Время решения
Intel Core i5 4200U CPU, 1.6ГГц	2 ч 15 мин
Intel Core i3 2100 CPU, 3.1ГГц	2 ч 18 мин

Существующая программа моделирования реализована в среде Delphi 7.0.

Для значительного сокращения времени моделирования в работе предлагается применить технологию NVIDIA CUDA для распараллеливания задач. В связи с тем, что в настоящее время для программирования GPU используются компиляторы C++ и Fortran,

предлагается использовать механизм распараллеливания в виде dll, написанной на C++ и экспортируемой в среду Delphi.

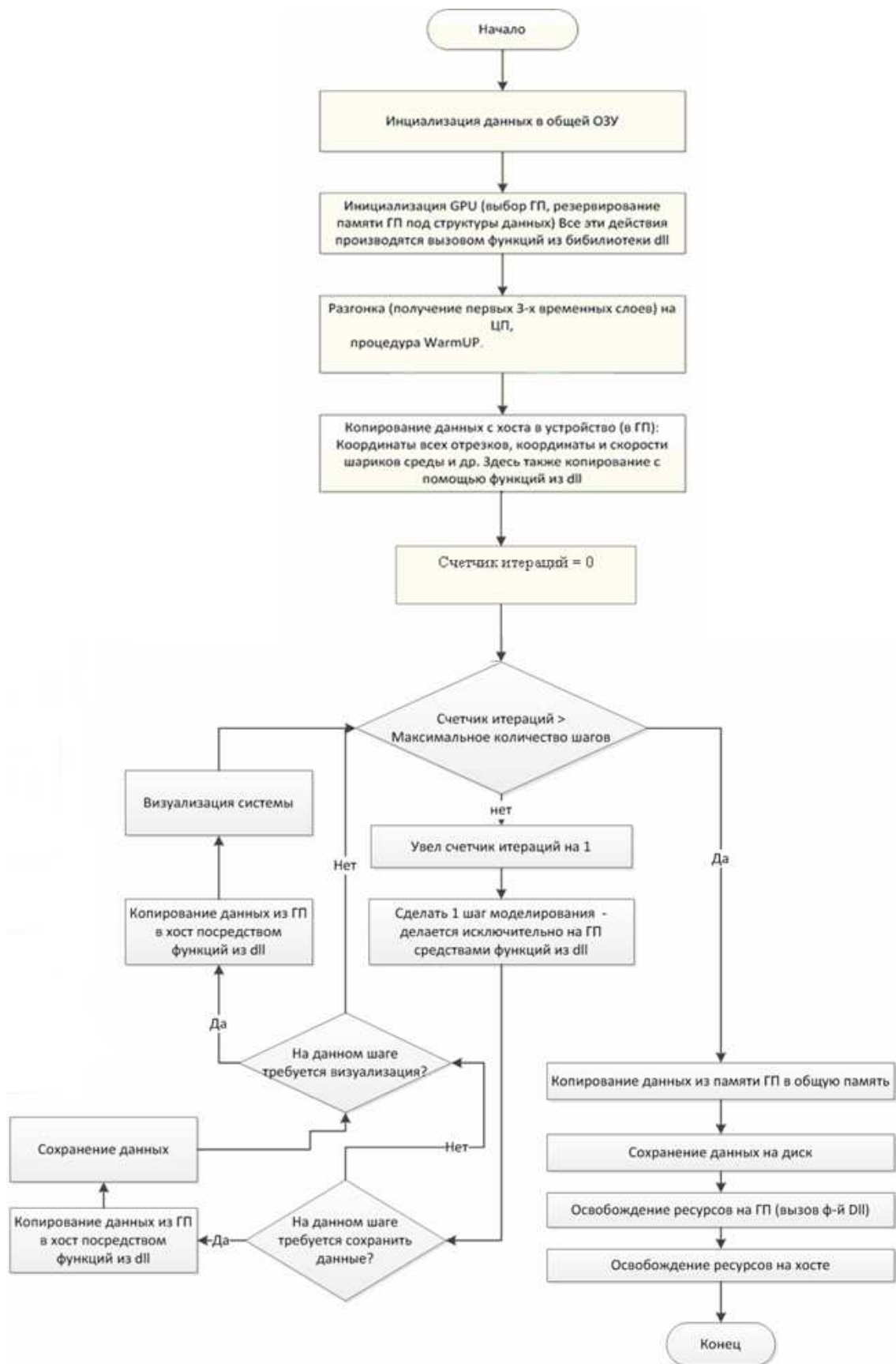


Рис.1 Алгоритм программы моделирования

В процессе реализации распараллеливания было сначала произведено перекомпилирование исходного кода проекта программы моделирования в среде Delphi XE

б. На рис.1 представлен общий алгоритм моделирования.

Очевидно, что в dll, написанной на cuda C необходимо реализовать следующие функции:

- Инициализации глобальной памяти – проверка всех устройство, поддерживающих NVIDIA CUDA и выбор из них максимально производительного
- Освобождения глобальной памяти
- Инициализации массива в памяти CPU
- Освобождения памяти, занятой массивом (на CPU и GPU)
- Копирование массива из памяти GPU в память CPU

Копирование массива из памяти CPU в память GPU

На рис 2 и рис 3 представлен фрагменты кода функций инициализации глобальной памяти, а также копирования массива из памяти GPU в память CPU.

```
int init_GP()
{
    int deviceCount;
    cudaDeviceProp dp;
    cudaError_t cudaStatus;

    cudaStatus = cudaGetDevice(&deviceCount);
    if (cudaStatus != cudaSuccess) {
        return 0;
    }

    cudaMemset(&dp, 0, sizeof(cudaDeviceProp));
    dp.major = 3;
    dp.minor = 5;

    cudaStatus = cudaChooseDevice(&deviceCount, &dp);

    if (cudaStatus != cudaSuccess) {
        return 0;
    }

    cudaStatus = cudaSetDevice(deviceCount);
    return 1;
}
```

Рис.2 Функция инициализации глобальной памяти

```

int copy_to_cpu(int *dev_a, int *a, int size)
{
    cudaError_t cudaStatus;

    cudaStatus = cudaMemcpy(a, dev_a, size * sizeof(int), cudaMemcpyDeviceToHost);

    if (cudaStatus != cudaSuccess) {
        //fprintf(stderr, "cudaMemcpy failed!");
        return 0;
    }
    return 1;
}

```

Рис.3 Функции копирования массива из памяти GPU в память CPU

Список литературы

1. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение. – Воронеж: ВГТУ; 1999. 386 с.
2. Шевцов С. Н. Компьютерное моделирование динамики гранулированных сред в вибрационных технологических машинах. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 194 с.
3. Копылов Ю.Р. Динамика процессов виброударного упрочнения. – Воронеж: Научная книга; 2011. – 569 с.
4. Копылов Ю.Р., Попов А.А. К проблеме трехмерного моделирования процесса виброударного упрочнения // Авиа-космические технологии. АКТ-06: труды VII междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2006. С. 542-546.
5. Боресков А.В., Харламов А.А., Марковский Н.Д., Микушин Д.Н., Мортиков Е.В., Мыльцев А.А., Сахарных Н.А., Фролов В.А. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA.. М.: МГУ, 2012.-332 с.
6. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 232 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЖКЛЕТЕВОГО
НАТЯЖЕНИЯ ПРОКАТНОГО СТАНА**

М.Г. Данилова, К.С. Гамбург, С.Ю. Чернышов

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
chernyshov.sy@mail.ru

***Аннотация.** Рассматривается система регулирования межклетевого натяжения прокатного стана. Разработана математическая модель синхронного электропривода двух клеток стана с блоком регулирования минимального натяжения.*

***Ключевые слова:** регулирование минимального натяжения, прокатный стан, синхронный двигатель с постоянными магнитами, момент прокатки, векторное управление.*

**SIMULATION OF THE TENSION CONTROL SYSTEM OF A
ROLLING MILL**

M.G. Danilova, K.C. Gamburg, S.Y. Chernyshov

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol
chernyshov.sy@mail.ru

***Abstract.** Tension control system of a rolling mill is considered. Mathematical model of two synchronous electric stands drives and block of the tension control was developed.*

***Keywords:** tension control, rolling mill, permanent magnet synchronous machine, rolling moment, vector control.*

Развитие прокатного производства направлено на улучшение качеств готовой продукции, таких как увеличение точности прокатываемого профиля, улучшение качества поверхности структуры и физико-механических свойств металла при одновременном увеличении производительности станов. Для получения качественного профиля сортового металла в отношении геометрических размеров прокатки металла в клетях должна происходить с минимальным натяжением. Оптимальное качество проката, в том числе, достигается при выборе клина скоростей между клетями и группами клеток, обеспечивающее минимальное натяжение заготовки. Отклонение от требуемого соотношения скоростей вращения будет менять напряженное состояние прокатываемого

металла, что может привести к изменению геометрических размеров профиля и авариям [1]. Это предъявляет к системе привода клетей следующие требования: строгое соотношение между скоростями клетей для различных программ прокатки; минимальное натяжение при входе металла в валки, т.е. статическое и динамическое падение скорости после входа металла в валки должны быть минимальными; возможность осуществления независимого автоматического регулирования скорости двигателя каждой клетки, а также совместное регулирование скорости группы клетей [2].

Анализ потерь показывает существенность точного регулирования натяжения и необходимость использования чувствительного и быстродействующего привода. Лучшее качество регулирования, чем в приводах постоянного тока, при уменьшении эксплуатационных расходов, получают при применении приводов переменного тока: синхронных двигателей с постоянными магнитами или асинхронных с короткозамкнутым ротором.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ) обладает малыми потерями в роторе и хорошими динамическими характеристиками. Наиболее популярные системы частотного управления приводов с синхронным двигателем с постоянными магнитами – векторное регулирование и прямое управление моментом. Сравнительный анализ электроприводов с синхронным двигателем с постоянными магнитами с векторной системой частотно-токового управления и системой прямого управления моментом показал, что системы векторного управления дают меньшие потери в двигателе за счет низкого уровня гармоник тока, отличных от первой, т. е. являются потенциально более энергоэффективными [3].

Ядро векторного управления СДПМ - регуляторы P_Td и P_Tq составляющих тока статора в системе координат dq и координатные преобразователи $abc/\alpha\beta$ и $\alpha\beta/dq$ (рис. 1). Неподвижная трехфазная система координат abc позволяет отобразить процессы, происходящие в двигателе, на плоскость при представлении токов, напряжений и потокосцеплений в виде вращающихся векторов. Система abc имеет три оси, расположенные на плоскости под углом в 120 градусов. В прямоугольной системе координат $\alpha\beta$ пространственный вектор выражается через проекции на вещественную ось α и мнимую ось β . Оси системы координат dq располагаются в плоскости нормальной оси вращения ротора синхронной машины, ось d фиксируется по направлению поля ротора, а ось q ортогональна ей. Задающее воздействие по составляющей тока статора $i_{d\text{зад}}$ равно нулю, т.к. пространственный угол между векторами тока статора \vec{i}_s и магнитного потока

ротора $\bar{\Phi}_0$ всегда должен быть равен 90 электрическим градусам, а подача управляющего воздействия, отличного от нуля, вызовет смещение вектора тока и, следовательно, изменение угла. Погрешность датчика положения ротора (резольвера) обычно не превышает 0.01%.

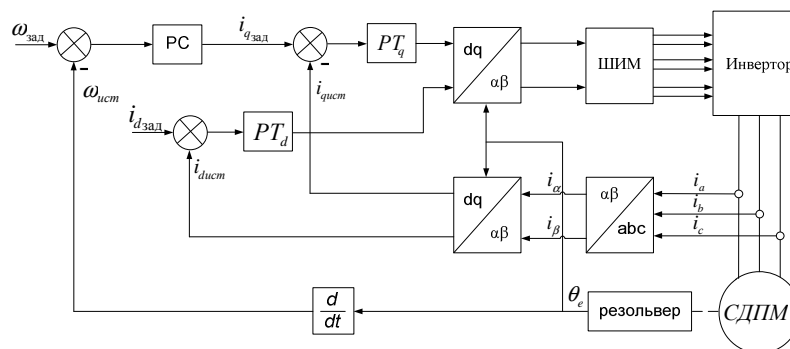


Рис. 1. Функциональная схема векторного управления СДПМ

Скалярное описание СДПМ при разложении результирующего вектора электромагнитных переменных по осям d и q :

$$\frac{d}{dt} \cdot i_d = \frac{1}{L_d} u_d - \frac{R_s}{L_d} \cdot i_d + \frac{L_q}{L_d} \cdot p \cdot \omega_r \cdot i_q \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \cdot i_q = \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R_s}{L_q} \cdot i_q + \frac{L_d}{L_q} \cdot p \cdot \omega_r \cdot i_d - \frac{\lambda \cdot p \cdot \omega_r}{L_q} \quad (2)$$

$$M = 1,5 \cdot p \cdot [\lambda \cdot i_q + (L_d - L_q) \cdot i_d \cdot i_q], \quad (3)$$

где i_d - ток статора по оси d , i_q - ток статора по оси q , u_q - напряжение статора по оси q , u_d - напряжение статора по оси d , p - число пар полюсов ω_r - угловая скорость ротора, L_d , L_q - индуктивность статора соответственно по осям dq , M - электромагнитный момент λ - амплитуда потока, индуцированного постоянными магнитами ротора, в обмотках статора.

Синтезированная модель, содержащая приводы двух клетей с векторным управлением СДПМ и формированием дополнительных оборотов для реализации минимального натяжения, представлена на рис. 2.

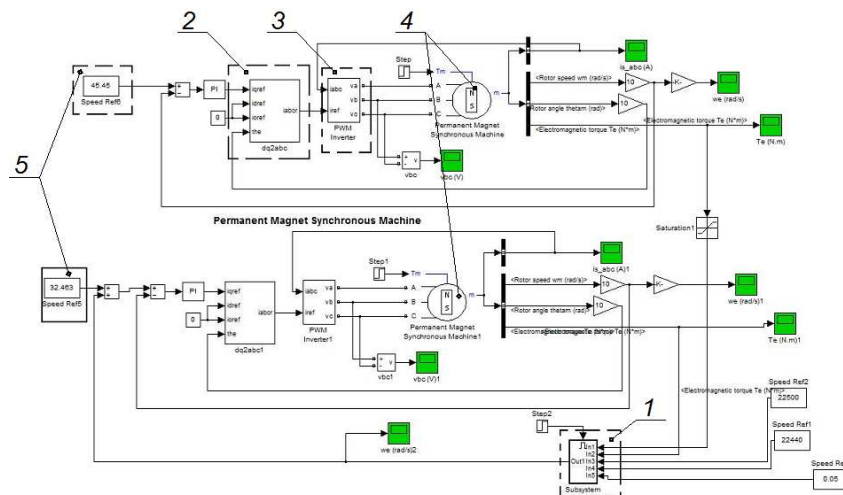


Рис. 2. Модель системы регулирования межклетевого натяжения черновой группы клеток

В блоке 1 формируется сигнал задания на дополнительные обороты следующего привода. Для поддержания заданного минимального натяжения необходимо, чтобы скорость (n+1)-ой клетки была выше скорости n-ой клетки на определенное количество оборотов. Количество дополнительных оборотов пересчитывается, исходя из значений моментов, измеренных на валу двигателя в моменты времени выхода заготовки из n-ой клетки - t_1 и захвата заготовки (n+1)-ой клетью - t_2 .

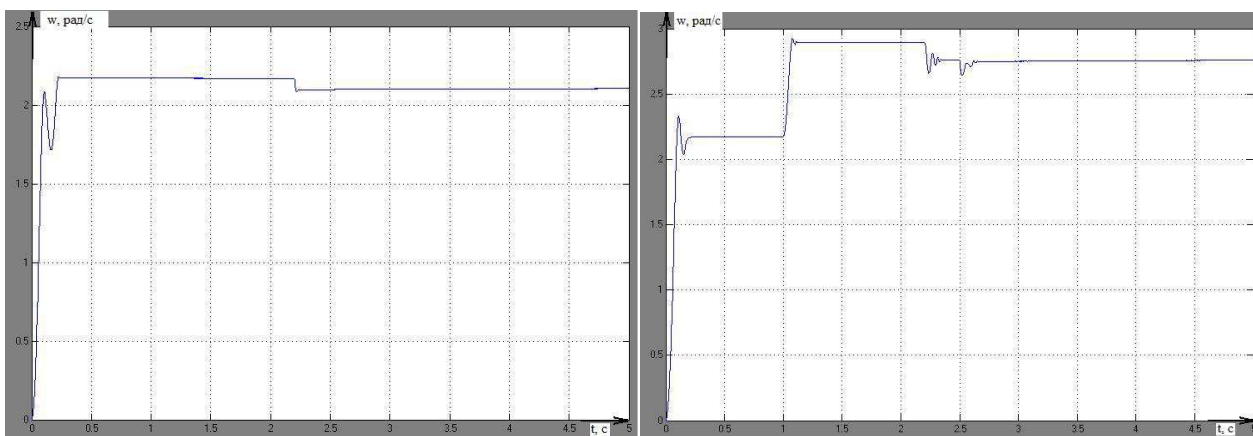
В модели реализовано вычисление задания на необходимое количество дополнительных оборотов черновой группы клеток по следующей зависимости:

$$n_3 = r_{(n-1)} \left[1 - \left(\frac{M(t_1) \cdot 2i_p}{D_{B1} S_{C1}} - \frac{M(t_2) \cdot 2i_p}{D_{B2} S_{C2}} - 0,5\delta_3 \right) k_{E1} k_{E2} \right] n_2 r_{3(n+1)}, \quad (4)$$

где $r_{(n-1)}$ - текущее соотношение заданного числа оборотов предыдущей (n-1)-ой клетки и n-ой клетки; $M(t_1)$, $M(t_2)$ - статический момент соответственно в t_1 и t_2 ; D_{B1} , D_{B2} - катающие диаметры валков; S_{C1} , S_{C2} - площадь поперечного сечения катаемого профиля; n_2 - скорость следующей (n+1)-ой клетки; $r_{3(n+1)}$ - заданное соотношение числа оборотов для следующей (n+1)-ой клетки и n-ой клетки.

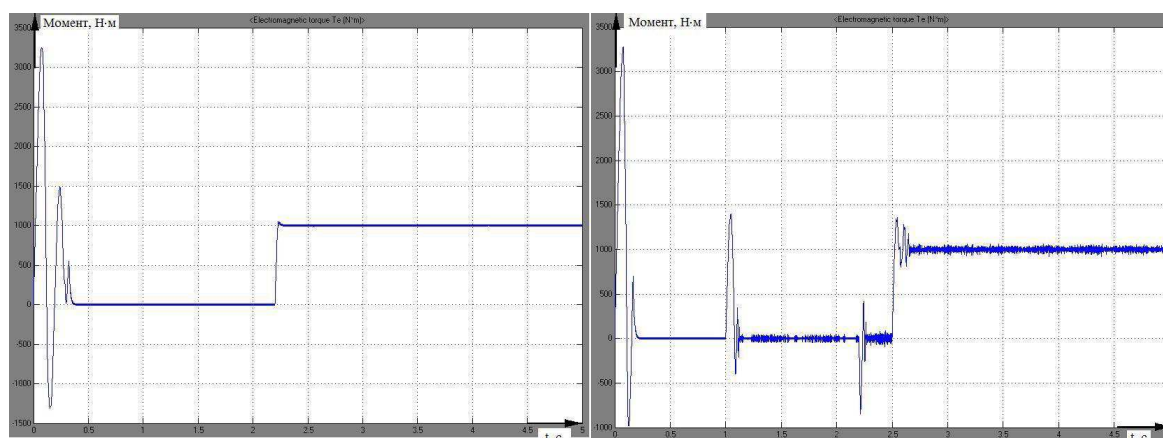
В блоке 2 выполняется преобразование вращающейся системы координат dq в неподвижную $\alpha\beta$ и затем в трехфазную систему координат abc . Блок 3 - инвертор с широтно-импульсной модуляцией. Блок 4 - Синхронный двигатель с постоянными магнитами. Блок 5 - задание скорости.

Полученные при имитационном моделировании временные зависимости скоростей и моментов представлены соответственно на рис. 3 и рис. 4.



а) б)

Рис. 3 а) Временная зависимость скорости первой клетки, б) Временная зависимость скорости второй клетки



а) б)

Рис.4 а) Временная зависимость электромагнитного момента первой клетки, б) Временная зависимость электромагнитного момента второй клетки

Из приведенных временных зависимостей видно, что флуктуации электромагнитного момента второй клетки больше, чем на первой. При постоянной нагрузке в 1000 Нм (на приводе второй клетки) $dT_e = 100$ Нм, на приводе первой клетки, при той же нагрузке - $dT_e = 40$ Нм. Результаты имитационного моделирования системы регулирования межклетевого натяжения с приводами двух клеток черновой группы стана 350 по системе ПЧ-СДПМ показали, что система отвечает вышеперечисленным предъявленным к ней требованиям.

Список литературы

1. Афанасьев В. Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве, Москва, : Металлургия 1977,- 274 с.
2. Восканьянц А. Автоматизированное управление процессами прокатки: Учебное пособие - Москва, : Московский государственный технологический университет им. Н. Э. Баумана,

2010,-. 80 с.Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока – Харьков 2004, - 16 с.

3. Абд Эль Вхаб Амр Рефки, А.С. Каракулов, Ю.Н. Дементьев, С.Н. Кладиев*. Сравнительный анализ векторного управления и прямого управления моментом синхронного электродвигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. - 2011. - Т. 319, № 4 : Энергетика. - С. 93-99

4. Nippon Kokan К.К, “New tension control method for hot strip mills,” Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, vol. 26, no. 3, pp.256-256, 1986.

5. G. V. Bass and R. Hartmann, “Minimum Tension Control in Finishing Train of Hot Strip Mills,” Iron and Steel Engineer, pp. 48-53, Nov. 1987.

6. S. Duysters, J. A. J. Goversvan and A. J. J. D. Weiden, “Process interactions in a hot strip mill; possibilities for multivariable control?” Proceedings of the Third IEEE Conference on Control Applications, vol.3, pp. 1545-1550, 1994.

7. A.J. Pollmann, “Control strategies for rolling mills,” Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1993 IEEE, vol.3, pp. 2420-2425, 1993. Applying optimal regulator theory.

УДК 681.537

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

М.Г. Данилова, К.С.Гамбург, С.Ю. Чернышов

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО

"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
chernyshov.sy@mail.ru

***Аннотация.** Рассматривается система регулирования шаровой барабанной мельницы. Разработана математическая модель синхронного электропривода. Представлены результаты имитационного моделирования, выполненного в среде пакета прикладных программ MatLab-Simulink.*

***Ключевые слова:** шаровая барабанная мельница, вентильный двигатель, рекуперация электроэнергии, векторное управление.*

SIMULATION OF THE CONTROL SYSTEM OF A BALL-TUBE MILL

M.G. Danilova, K.C. Gamburg, S.Y. Chernyshov

Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISiS", Sary Oskol

chernyshov.sy@mail.ru

Abstract. Control system of a ball-tube mill is considered. Mathematical model of self-controlled inverter-fed synchronous drive was developed. Presents the results of simulation performed in the environment of the application package MatLab-Simulink.

Keywords: ball-tube mill, self-controlled inverter-fed synchronous motor, power recuperation, vector control.

Отличительной особенностью привода мельниц являются длительные тормозные режимы работы электропривода. Применение системы преобразователь частоты - синхронный двигатель (ПЧ-СД) с системой тормозной прерыватель - тормозной резистор в таких режимах зачастую технически невозможно и экономически нецелесообразно, т.к. для рассеяния большого потока энергии торможения требуется не только увеличение мощности тормозных резисторов, но и дополнительные затраты на отвод тепла. Возврат вырабатываемой двигателем энергии в питающую сеть вместо рассеяния ее на тормозных резисторах обеспечивает активный выпрямитель. При этом достигается как возможность длительной работы рекуператора, так и энергоэффективность за счет рекуперации при торможении.

Функциональная схема управления ПЧ-СД с векторным управлением представлена на рис. 1. Силовая часть ПЧ - активный выпрямитель, звено постоянного тока и инвертор. Система регулирования представлена ядром векторного управления, системой регулирования активного выпрямителя и регулятором скорости.

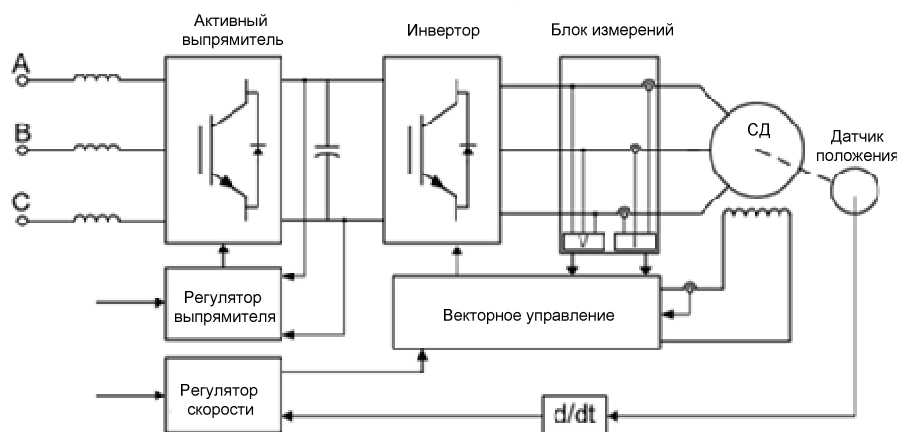


Рис 1. Функциональная схема управления вентильным синхронным двигателем

Синтезированная модель привода ПЧ-СД с векторным управлением шаровой мельницы МШЦ-4500х6000 представлена на рис. 2.

Функциональная схема активного выпрямителя представлена на рис. 3. В системе регулирования активного выпрямителя реализованы регулятор тока и контур регулирования напряжения в звене постоянного тока. В модели активный выпрямитель представлен подсистемой Active rectifier (рис. 4).

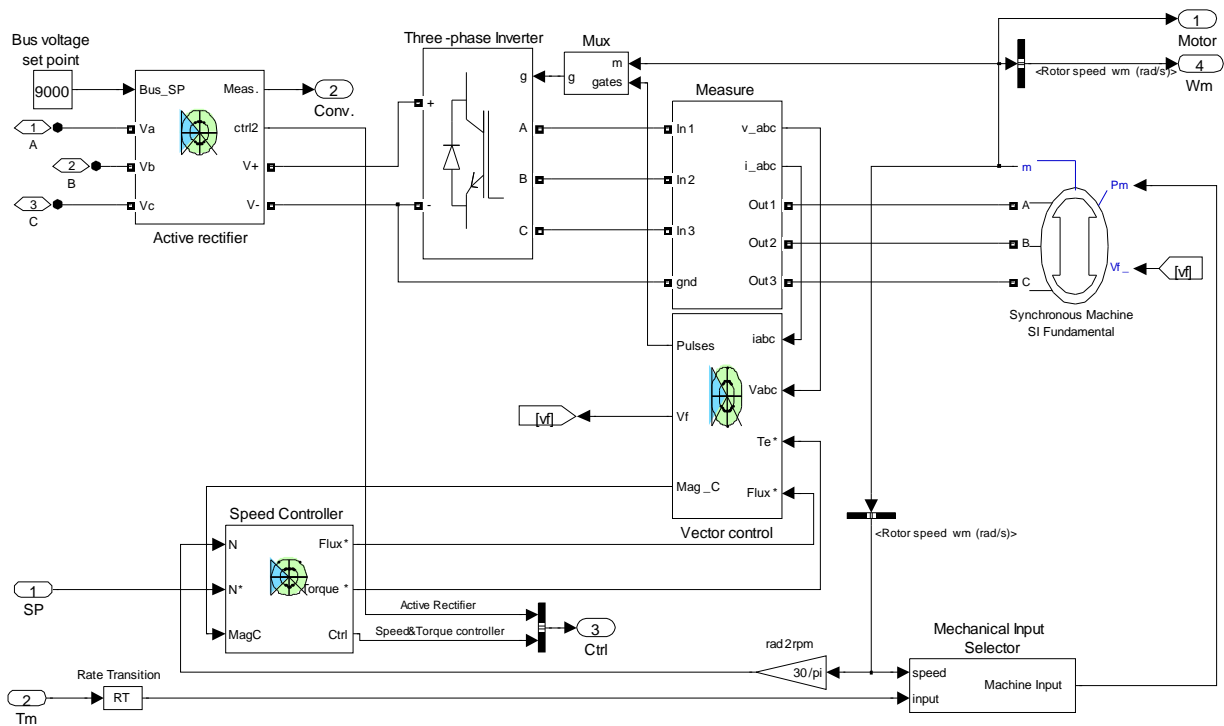


Рис 2. Модель привода ПЧ-СД с векторным управлением шаровой мельницы МШЦ-4500х6000

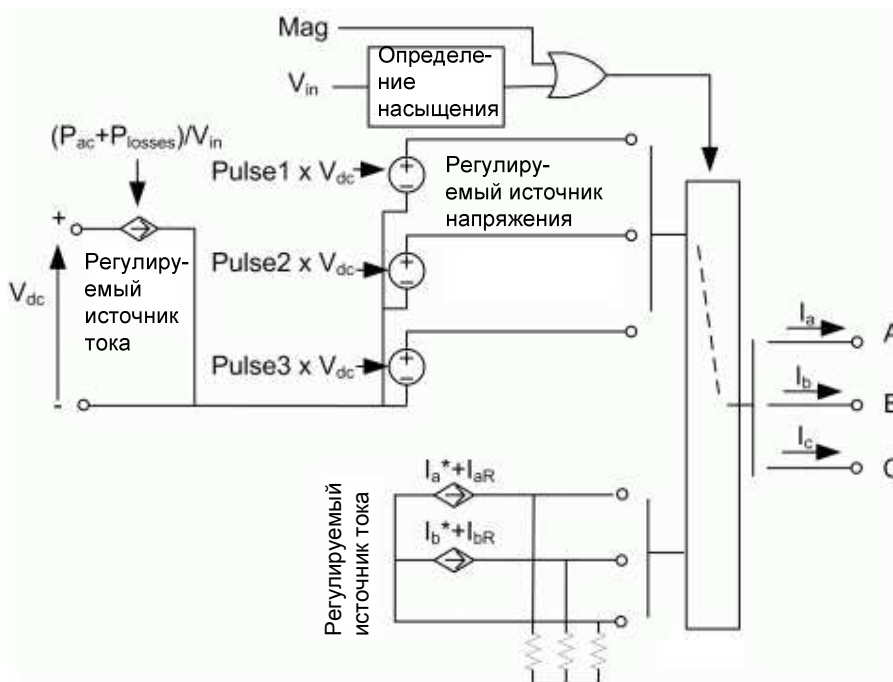


Рис.3. Функциональная схема активного выпрямителя

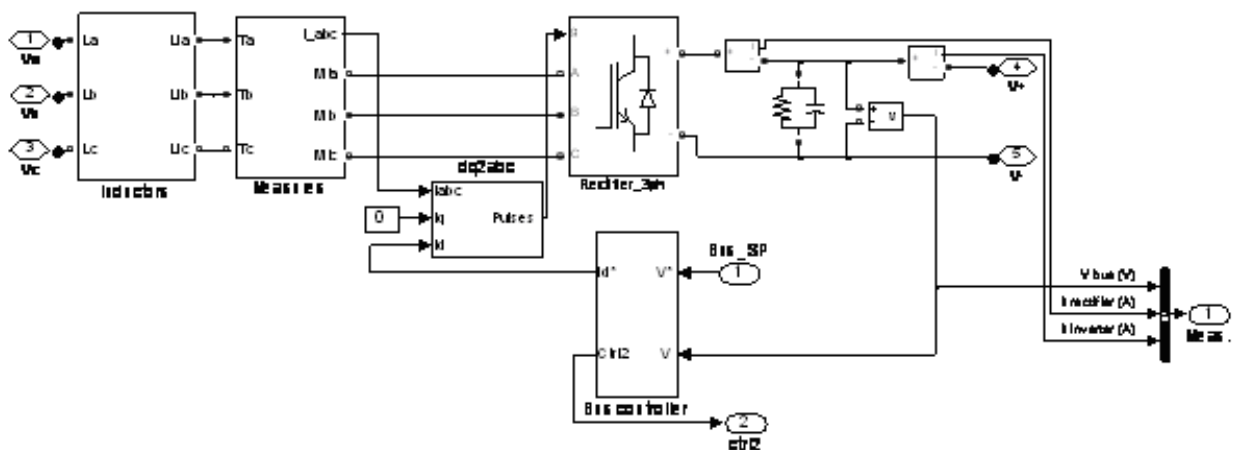


Рис.4. Подсистема Active rectifier (Активный выпрямитель)

Контур регулирования напряжения в звене постоянного тока, потокосцепления статора и скорости отстроены на симметричный оптимум. Регуляторы тока в подсистемах модели Active rectifier (Активный выпрямитель) и Vector control (Векторное управление) - гистерезисные регуляторы. Моделирование выполнялось для двигателя СДС 19-56-40 мощностью 2500 кВт с номинальным напряжением 6 кВ. Результаты имитационного моделирования приведены на рис. 5.

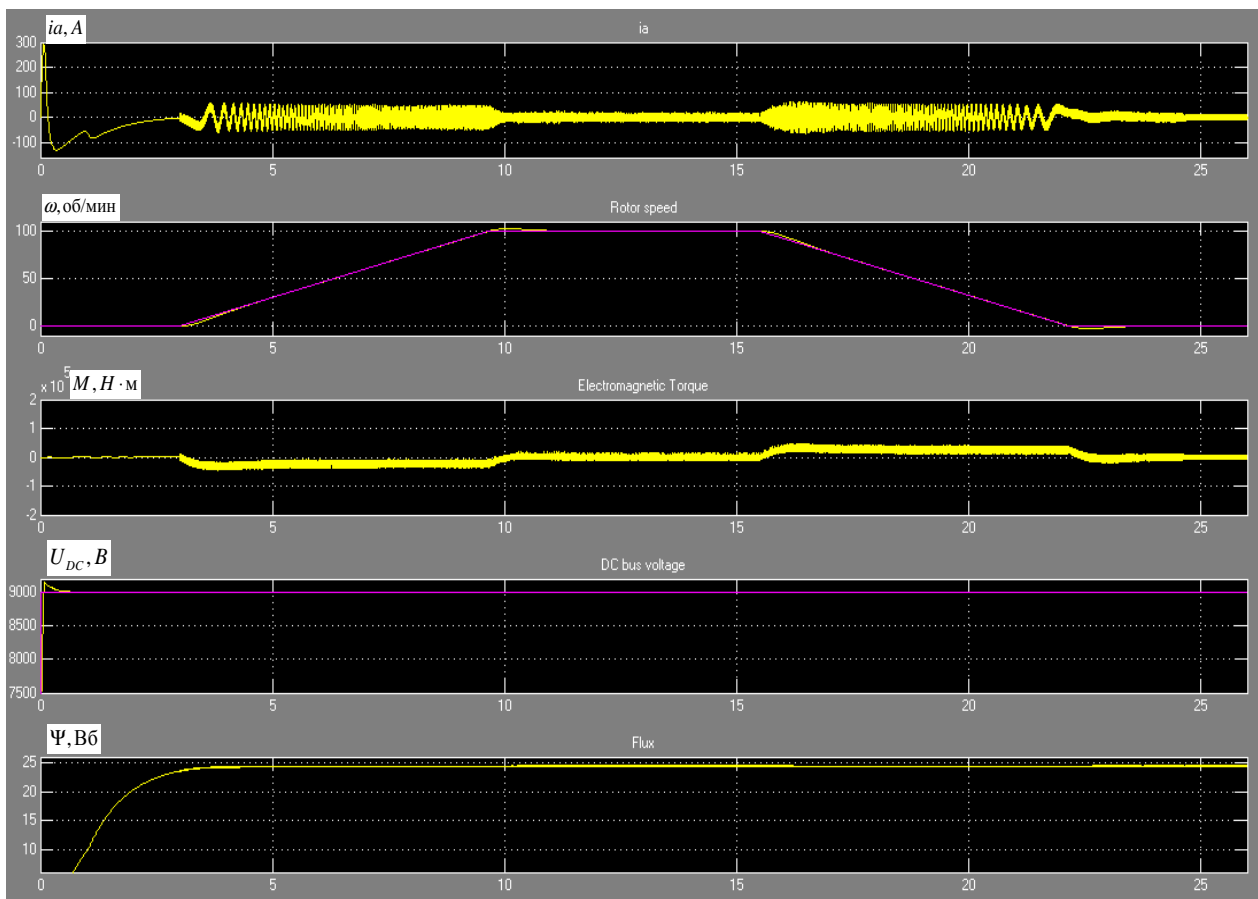


Рис.5. Временные зависимости тока статора, скорости, электромагнитного момента, напряжения в звене постоянного тока и потокосцепления

Результаты имитационного моделирования подтвердили работоспособность, устойчивость и быстродействие системы регулирования, показали целесообразность использования системы ПЧ-СД с векторным управлением и активным выпрямителем для привода шаровых мельниц.

Список литературы

1. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург, УРО РАН, 2000. 654 с
2. Хрисанов В.И., Бржезинский Р. Анализ состояния и перспектив развития силовой электроники и электропривода (по материалам международной конференции ЕРЕ-РЕМС'2002) // Электротехника. – 2003. – №6. – С. 10-15.
3. Namiane M., "Identification of a pulverized fuel mill from normal operating records using a multivariable polynomial matrix model", International Journal of Modeling and Simulation, vol. 20, pp 227-235, 2000

4. Wei J. L., Wang J. and Wu Q. H., "Development of a Multi-Segment Coal Mill Model Using an Evolutionary Computation Technique", IEEE transaction on Energy Conversion, vol 22, 885-896, 2007

УДК 004.89, 669.162

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПЕРЕГОВОРОВ АГЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИГР

Е.Г. Доронина

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
katerina_komova@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения теории игр для решения задачи организации переговорных процессов интеллектуальных агентов в рамках мультиагентной системы экологической безопасности.

Ключевые слова: мультиагентная система, теория игр, экологическая безопасность.

AGENTS NEGOTIATING FORMALIZATION BASED ON GAME THEORY IN MULTIAGENT SYSTEM OF ECOLOGICAL SAFETY

E. Doronina

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol
katerina_komova@mail.ru

Abstract. The article discusses the possibility of applying game theory to solve the problem of negotiation processes organization for intelligent agents in the framework of ecological safety multi-agent system.

Keywords: multi-agent system, game theory, environmental safety.

1. Введение

- В эколого-экономической системе можно выделить трех основных участников:
- 1) управляющие органы (органы государственной власти), представленные агентом-супервизором;

- 2) экономические агенты (предприятия региона), представленные агентами-предприятия;
- 3) окружающая среда, представленная агентом-ресурса.

Эколого-экономическая система может быть описана множеством состояний $s \in S$, в которых могут находиться агенты с вероятностью $P(S)$. Каждый агент имеет набор возможных действий - ACT_i . В какой-то момент времени $t \in [0; T]$ агент находится в состоянии $s \in S$ и предпринимает действие $act_i \in ACT$ и получает некоторое вознаграждение. Агент – ресурса совершает простейшие действия (принять/передать, сравнить, оценить, обновить и т.д.) и взаимодействует с агентом – супервизором и другими агентами - ресурса. Действия агента-предприятия и агента-супервизора можно представить простейшими действиями, характерными агенту – ресурса, а также управляющими механизмами – нормированием выбросов предприятий и экономическими механизмами стимулирования внедрения экологически чистых технологий и снижения поступления загрязняющих веществ в атмосферу. При этом управляющий центр (агент - супервизор) имеет право первого хода и может ограничивать возможности агента – предприятия, направляя их действия в нужное русло (так называемые модели конфликтно управляемых систем с иерархической структурой)[1].

Выбор того или иного действия в момент времени $t \in [0; T]$ осуществляется агентом – предприятия, исходя из его экономических интересов, как правило, стремящегося к максимизации прибыли, полученной в результате хозяйственной деятельности, за вычетом затрат, связанных с очисткой выбросов на предприятиях, налога и штрафными санкциями за сброс загрязняющих веществ. При этом предлагается ввести коэффициент M_{ij} , увеличивающий значения штрафных санкций относительно затрат предприятия на природоохранные мероприятия, что позволяет предупредить чрезмерные выбросы:

$$f_i = \int_0^T \sum_{j=1}^l (D_i(y_i, t) - Z_{ij}(k_{ij}, t) - N_{ij}(v_{ij}, t) - M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}, t)) dt \rightarrow \max_{v_{ij}} \quad (1)$$

где t – временная координата; T – момент времени, до которого ведется рассмотрение; $i=1 \dots n$, n – количество рассматриваемых предприятий; $j=1 \dots l$, l – количество рассматриваемых загрязняющих веществ; $D_i(y_i, t)$ – прибыль предприятия от реализации продукции объемом y в момент времени t ; $Z_{ij}(k_{ij}, t)$ – затраты предприятия на очистку отходящих газов – капитальные и эксплуатационные затраты. Данные затраты зависят от количества j -ого загрязняющего вещества, удаляемого на предприятии – k_{ij} в момент времени t . $N(v_{ij}, t)$ – затраты предприятия (налоги) за выбросы j -ого загрязняющего вещества в пределах нормы; v_{ij} – количество j -ого загрязняющего вещества выбрасываемых в

воздушную среду без очистки; $S(v_{ij},t)$ – функция затрат за негативное воздействие на воздушную среду (штрафы) в момент времени t за сверхнормативный или сверхлимитный сброс загрязняющих веществ; M_{ij} – цена загрязнения для предприятия во много раз превышающая затраты на природоохранные мероприятия – $Z_{ij}(k_{ij},t)$.

Агент – супервизор представляет органы власти, деятельность которых заключается в поддержании требуемого уровня безопасности с помощью установленных законов, норм и систем штрафов. При этом агент – супервизор стремится минимизировать ущерб от деятельности предприятий региона, который зависит от текущего загрязнения воздушной среды и суммы налоговых выплат и штрафов предприятий региона:

$$\Phi = \int_0^T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (W_{ij}(v_{ij},t) - N_{ij}(v_{ij},t) - M_{ij}S_{ij}(v_{ij},t)) dt \rightarrow \min_{q_{ij}}, \quad (2)$$

где $W_{ij}(v_{ij},t)$ – ущерб от загрязнения воздушной среды, связанный с деятельностью i -ого предприятия региона в момент времени t .

Задачи (1) и (2) решаются при ограничениях:

$$\omega_{ij} \leq q_{ij}, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (3)$$

где ω_{ij} – минимально возможная величина выбросов, определяемая технологическими параметрами i -ого предприятия, q_{ij} – допустимое значение выбросов j -ого загрязняющего вещества на i -ом предприятии, устанавливаемое агентом – супервизором.

Параметры экономических механизмов настраиваются агентом - супервизором в соответствии с наблюдаемым уровнем безопасности каждого предприятия и региона.

Интересы предприятия и административного центра вряд ли можно назвать совпадающими, однако степень достижения своей цели каждым из агентов зависит от его собственных решений, так и от действий всех остальных участников.

Достижение устойчивого развития эколого-экономической системы можно осуществлять различными методами иерархического управления [2]. В существующих условиях, как правило, управление административного центра носит административно-законодательный характер с применением экономических механизмов воздействия, то есть центр запрещает предприятию использовать стратегии, не удовлетворяющие законодательно оговоренным требованиям, и назначает платежи за пользование природными ресурсами и экономические санкции за экологические правонарушения.

Функционирование системы управления будем рассматривать во времени, точнее на отрезке $[0, T]$, при этом предполагаем, что параметр t представляет дискретное множество значений $0=t_1 < t_2 < \dots < t_m = T$. Будем считать, что все параметры, входящие в систему, изменяются во времени: $v_{ij}(t)$, $k_{ij}(t)$, $y_i(t)$. Административный центр и предприятия

заинтересованы в максимизации за все время функционирования системы своих выигрышей, который складывается из выигрышей агентов в момент t_k , где $k=1, \dots, m$.

Статическую игру, рассматриваемую в момент t_k , можно представить [1]:

1) агент-супервизор, стремясь уменьшить нагрузку на воздушную среду, воздействует (выбирает ход $x_S \in X_S$) на область допустимых управлений агента-предприятия за счет изменения величины ограничений на выброс загрязняющих веществ - q_{ij} и цену загрязнения M_{ij} для i -ого предприятия ($i = 1 \dots n$) – выбирает стратегию $R_S(t_k)$. Т.е. задача агента-супервизора состоит в поиске таких векторов $q=(q_{11}, \dots, q_{nl})$ и/или $M=(M_{11}, \dots, M_{nl})$, которые обеспечат перевод состояния воздушной среды в новое, более приемлемое состояние и минимизирует ущерб от загрязнения.

2) агент - предприятия, делая свой ход - $x_h \in X_h$, определяет свою оптимальную стратегию из множества:

$$R_h(R_S, t_k) = \{x_h \in X_h: f(x_S, x_h) = \sup f(x_S, y_h)\}, \quad (4)$$

где y_h – множество возможных ходов агента-предприятия, $y_h \in X_h$, в зависимости от управлений центра и максимизации целевой функции (1).

Пусть оптимальные управления являются программными, т.е. являются функциями времени. Пусть $q_{ij}^*(t_k)$, $M_{ij}^*(t_k)$ - решение задачи

$$\min_{q_{ij}^*} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (W_{ij}(q_{ij}^*(t_k), t_k) - N_{ij}(q_{ij}^*(t_k), t_k) - M_{ij}^*(t_k) \cdot S_{ij}(q_{ij}^*(t_k), t_k)) \right], \quad q_{ij}^* \geq \omega_{ij} \quad (5)$$

$v_{ij}^*(q, t_k)$ – решение системы

$$\max_{v_{ij}^*} \left[\sum_{j=1}^l (D_i(y_i(t_k), t_k) - Z_{ij}(k_{ij}(t_k), t_k) - N_{ij}(v_{ij}^*(t_k), t_k) - M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}^*(t_k), t_k)) \right]. \quad (6)$$

Пусть $q_{ij}^*(t_k)$, $M_{ij}^*(t_k)$, $v_{11}^*(q_{11}, t_k)$, ..., $v_{nl}^*(q_{nl}, t_k)$ – оптимальные в смысле Нэша стратегии игроков в момент времени t_k .

Действительно, для всех предприятий $i = 1 \dots n$

$$\sum_{j=1}^l (D_i(y_i(t_k), t_k) - Z_{ij}(k_{ij}, t_k) - N_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) - M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k)) \geq \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^l (D_i(y_i(t_k), t_k) - Z_{ij}(k_{ij}, t_k) - N_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) - M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k)),$$

Для агента - супервизора: в случае фиксированного значения цены загрязнения M_{ij} :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (-W_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) + N_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) + M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k)) \geq \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (-W_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}, t_k), t_k) + N_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}, t_k), t_k) + M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}, t_k), t_k));$$

в случае фиксированного значения величины ограничений на сброс загрязняющих веществ - q_{ij}^* :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (-W_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) + N_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) + M_{ij}^* \cdot S_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k)) \geq \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (-W_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) + N_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k) + M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k), t_k)).$$

3) тогда решение примет вид:

$$\{q_{ij}^*(t_k), M_{ij}^*(t_k), v_{ij}^*(q_{ij}^*, t_k)\}_{i=1}^n \quad (10)$$

Состояние равновесия по Нэшу в дифференциальной игре состоит в использовании в каждый момент t_k игроками стратегий, образующих ситуацию равновесия по Нэшу в статических играх $k=1, \dots, m$.

Выигрыши игроков в дифференциальной игре равны: выигрыш агента – супервизора:

- $\Phi = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (W_{ij}(v_{ij}, t) - N_{ij}(v_{ij}, t) - M_{ij} S_{ij}(v_{ij}, t)); \quad (11)$

- выигрыш агента – предприятия:

- $f = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^l (D_j(y_j, t) - Z_{ij}(k_j, t) - N_{ij}(v_{ij}, t) - M_{ij} \cdot S_{ij}(v_{ij}, t)). \quad (12)$

Практическая ценность свойства динамической устойчивости решений дифференциальных игр состоит в том, что если игроки договариваются в начале игры о реализации некоторой оптимальной ситуации в течение всей игры, то эта договоренность для динамически устойчивых принципов оптимальности сохраняется до конца игры. Если какая-либо ситуация не является динамически устойчивой (т.е. решение не является динамически устойчивым), то это означает, что в некоторый момент времени t_k управления не будут оптимальными в текущей игре, и игроки перестанут придерживаться этих управлений в дальнейшем. Если же решение динамически устойчиво, то у игроков не будет оснований изменять свои управления до конца игры.

- Применительно к теории интеллектуальных агентов использование механизмов теории игр обеспечивает создание успешно действующих систем из совокупности более ограниченных системных компонентов (даже противоборствующих системных компонентов), во многом аналогично тому, как создаются команды людей, способные достигать целей, далеко превосходящих возможности отдельно взятого человека. Этот подход сводится к созданию механизма, который действительно требует от каждого агента максимизации глобальной полезности. Применительно к отдельному агенту, который не обладает возможностью оценивать текущее состояние мира и не может наблюдать за результатами действий всех других агентов, такая задача становится невероятно трудной.

Список литературы

1. Еременко Ю.И., Доронина Е.Г. Разработка алгоритма взаимодействия интеллектуальных агентов в мультиагентной системе управления экологической безопасностью [Текст] // Современные проблемы прикладной математики и математического моделирования: Материалы III Международной научной конференции. Часть 2. – Воронеж: «Научная книга», 2009г. – С. 142-145.
2. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Математическая формализация методов иерархического управления эколого-экономическими системами. // Проблемы управления, 2007, №4.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ ОБЖИМНЫХ КЛЕТЕЙ СОРТОПРОКАТНОГО ЦЕХА

А.Ю. Ерёмченко

ОАО ЛГОК, г. Старый Оскол

e-mail: al.erechenko@mail.ru , телефон : 8-951-151-20-19

***Аннотация:** Высокий уровень эффективности производственной деятельности предприятия может быть достигнут путём повышения мобильности и оперативности принимаемых управленческих решений. В статье анализируются возможности интеллектуализации оперативного управления подготовкой прокатного производства, как ключевого метода их повышения.*

***Ключевые слова:** интеллектуализация управления, прокатное производство.*

DISPATCHING CONTROL INTELLECTUALIZATION FOR BREAK-DOWN MILL PREPARATION PROCES OF LONG PRODUCT ROLLING MILL

A.Y. Eremenko

JSC LGOK, Stary Oskol

e-mail: al.erechenko@mail.ru , 8-951-151-20-19

***Abstract:** High level of efficiency of industrial activity can be reached by increase mobility and efficiency of accepted administrative decisions. The article analyzed possibility intellection managements rolling plant prepare, as a keys they increase method.*

***Keywords:** Intellection managements, rolling plant.*

Прокатное производство является заключительным переделом металлургического производства, обеспечивающим выпуск готовых прокатных изделий и определяющим

основной характер металлургического завода, многообразие его технологических процессов, сортамент прокатываемых сталей, состав цехов и агрегатов, параметры агрегатов и отличается от других видов металлургического производства большой номенклатурой готовой продукции, непрерывным совершенствованием технологических процессов с целью повышения качества выпускаемой продукции, постоянно возрастающими требованиями потребителей к качеству изделий, разветвлённой схемой транспортных потоков, сложной конфигурацией схемы обработки, перескладирования, учёта, упаковки и отгрузки [1].

Целью разработки принципов проектирования объектно-ориентированных интеллектуальных систем, является снижение издержек, связанных с технологическим процессом подготовки прокатного производства, в соответствии с требованиями, предъявляемыми системой SMED (Signale Minute Exchange of Die – Быстрая переналадка/переоснастка оборудования) – одного из инструментов повышения эффективности производственных процессов в арсенале средств технологии «Бережливое производство» [2].

Актуальность разработки высокоинтеллектуальных систем управления процессом производства сортового проката обусловлена усложнением подготовки оборудования стана, постоянным ростом объёмов производства при одновременном росте разнообразия сортамента продукции, повышением требований потребителей к отделке изделий, уменьшившимся в последние годы тоннажем отгружаемых партий проката (монтажных партий), что в свою очередь увеличивает объём подготовительных операций вследствие возросшего количества перевалок на оборудовании, усложнение внутренних логистических потоков при отделке, межоперационном складировании и отгрузке готовой продукции.

При разработке оптимального оперативного графика планирования прокатного производства можно выделить следующие критерии:

- своевременность отгрузки партии металла потребителю;
- отсутствие простоя транспортных средств;
- отсутствие простоев технологического оборудования;
- отсутствие нарушений технологии, отсутствие брака (например пересиживание металла в печи, связанное с неготовностью стана и др.)
- обеспечение минимального количества перевалок в процессе прокатки и минимального количества клетей (кассет) подлежащих замене в ходе перевалки (скольжение по профилям).

В качестве экспертной целесообразно использовать динамическую систему, ввиду необходимости учитывать динамику внешних условий, т.е. изменения, происходящие в окружающей технологической среде в режиме реального времени выполнения программного приложения[2].

В качестве исходной информационной базы ЭС будут выступать портфель заказов прокатной продукции, производственный план выплавки стали и поступления партий (плавов) на склад литой заготовки.

Возмущениями, оказывающими влияние на устойчивость графика прокатки будут являться нарушения технологического процесса как на предыдущих этапах (например, задержка или отбраковка плавки, аварийные простои оборудования и т.д.), так и непосредственно в прокатных цехах, (например, сбой в транспортировке литой заготовки и подката между цехами, несвоевременность подготовки прокатных клетей, задержка (отправка на доработку) партии проката работниками ОТК, и т.д.) несвоевременность поставки транспорта под отгрузку и оформления отгрузочных и таможенных документов и пр.

База данных (рабочая память) предназначена для хранения архивной (базовой) и текущей (оперативной) информации, необходимой для решения текущей задачи оперативного планирования и будет представлена следующими блоками (Рис. 1):

Статическая база данных - архив устойчивой информации на которой базируется принятие решений при планировании оперативных графиков. В качестве основы статической информативной базы будут выступать нормы длительности выполнения операций, на основании которых будут сформированы базы кластеров технологических переделов.

Динамическая (оперативная) база данных – данные о текущем состоянии на технологических объектах кластера (наличие нарезанных валков, наработка на калибрах этих валков, наличие готовых валковых опор, их наработка, наличие привалковой арматуры, собранных клетей, наличие ножей ножниц, абразивных кругов пил и т.д., состояние оборудования и графики его ППР и т.д.

База моделей (знаний) – база устойчивых правил и закономерностей установленных экспертами, специалистами ПРБ, технологических и ремонтных служб, служб подготовки производства и пр., целью которых является формирование оперативного плана прокатки и подготовки в соответствии с ним плана работы кластера подготовки прокатных клетей (Рис. 2).

Взаимодействие мультиагентов сети может быть описано на примере стана 350 сортопрокатного цеха №2 ОАО ОЭМК следующим образом – шаблонная мастерская (*A*) обеспечивает поставку шаблонов(и контршаблонов) на вальцетокарное отделение участка сборки и перевалки клетей (*B*), где осуществляется изготовление и переточка выработавших ресурс прокатных валков. Изготовленные и переточенные валки поступают на высотный склад валков (*C*) или непосредственно на участок сборки прокатных валков(*H*).

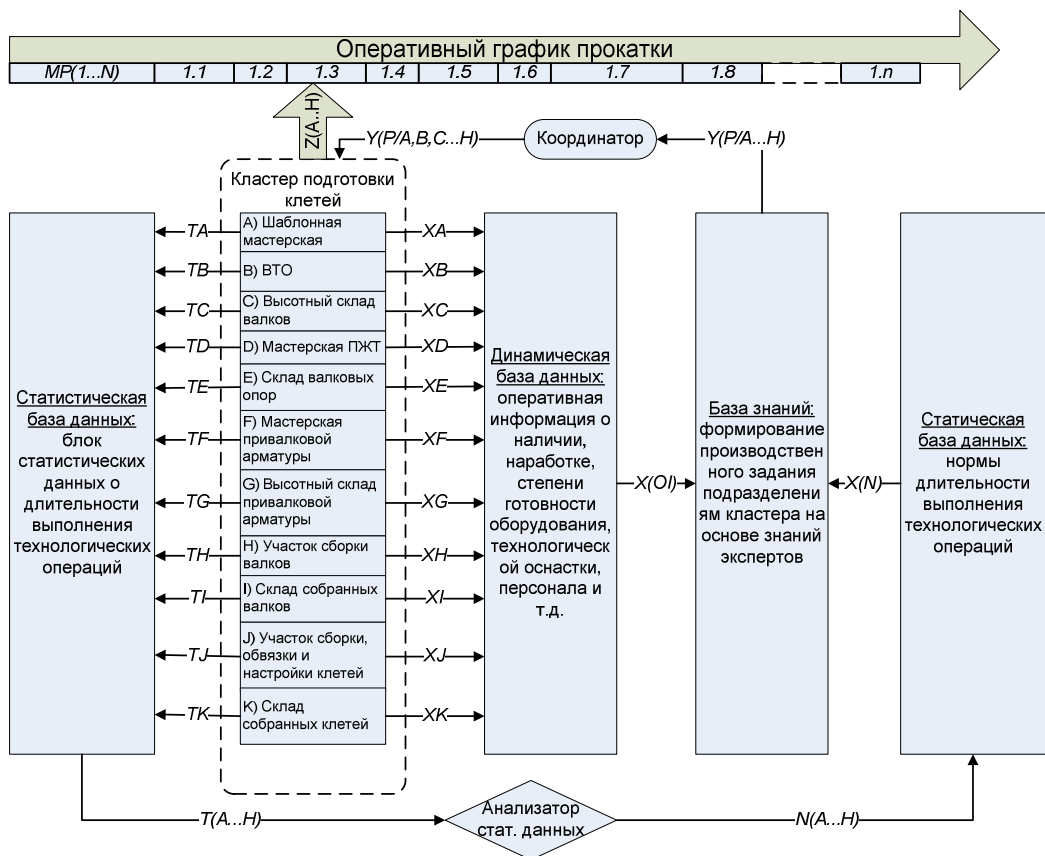


Рис. 1 Построение экспертной системы по управлению процессом подготовки прокатного производства.

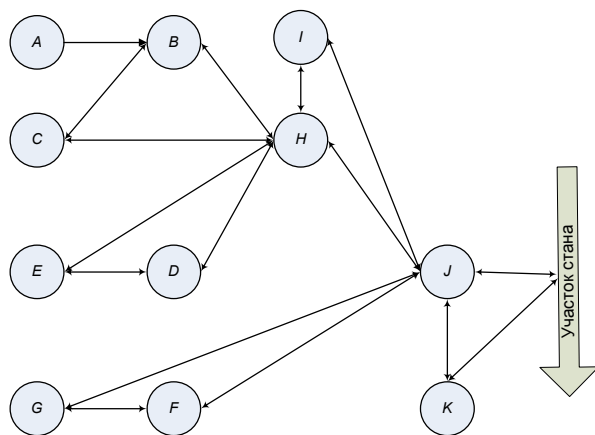


Рис. 2 Мультиагентная сеть взаимодействия структурных производственных единиц кластера подготовки прокатного производства.

На участке подшипников жидкостного трения производится ремонт и подготовка валковых опор, которые в готовом виде поступают на участок сборки прокатных валков (H). Валковые опоры могут поступать также на участок сборки прокатных валков со склада валковых опор (E)

Привалковая арматура готовится в мастерской привалковой арматуры (F) и поступает на высотный склад привалковой арматуры (G) или непосредственно на участок сборки клетей (J), куда перед этим

уже должны поступить собранные прокатные валки с участка сборки прокатных валков (H) или со склада хранения собранных валков (I)/

Выдача собранных настроенных и обвязанных (процесс обвязки клетей работниками электрослужб, гидравликами, энергетиками и слесарями КИПиА включен в состав работ по сборке и настройке клетей) в линию стана осуществляется либо с участка сборки клетей (J), либо со склада хранения собранных клетей.

Принципиальная схема реализации экспертной системы оперативного управления процессом подготовки клетей участка перевалки стана 350 СПЦ-2 ОАО ОЭМК приведена на рис.3.

Несмотря на то, что технологические схемы и режимы работы, состав оборудования, будут индивидуальны для каждого предприятия, а следовательно и базы данных и знаний также будут уникальны, тем не менее может быть предложен общий алгоритм разработки ЭС.

1. Кластеризация технологического процесса предприятия. На этом этапе происходит выделение из технологического процесса кластеров. Необходимо отметить, что содержание кластера может, как соответствовать одному технологическому участку, так и состоять из нескольких, объединённых одним функциональным направлением участков (или цехов), например функциональное направление «подготовка прокатного производства» (рис. 1) будет объединять в кластер участки ВТО, ПЖТ, калибрующего блока, ПП, привалковой арматуры, шаблонной мастерской, высотного склада валков и привалковой арматуры.

2. Выделение и ранжирование факторов и зависимостей, оказывающих влияние на длительность протекания того или иного технологического процесса и формирование статической базы данных на основании норм длительности технологических операций в виде матричных значений или регрессионных зависимостей.

3. Определение комплекса данных – оперативной информационной базы, необходимого и достаточного для оперативного управления технологическим процессом, порядок их ввода в ИС с целью формирования динамической (оперативной) базы данных.

4. Формирование базы знаний в ходе общения экспертов, представленных техническими специалистами обжимных, прокатных, отделочных цехов, производственного отдела(управления) предприятия и инженерами по знаниям.

5. Формирование инженерами по знаниям и программистами экспертной системы на основании созданных баз - знаний и данных.

6. Тестирование ЭС экспертами (специалистами предприятия) и коррекция выявленных в процессе тестовой эксплуатации замечаний.

В качестве примера формирования баз может быть рассмотрена схема формирования баз кластера «Прокатка».

Статическая база данных будет представлена следующими блоками:

A – подготовка прокатной клетки

нормы длительности:

- n_{1A} - на вальцетокарную обработку
- n_{2A} - норма длительности на шаблонное производство
- n_{3A} - норма длительности сборки валковых опор
- n_{4A} - сборка прокатных клетей
- n_{5A} - сборка привалковой арматуры

- n_A - настройка клетки(включая электро и гидрообвязку – установку датчиков усилия прокатки, наличия, расхода, и температуры сред, подключение носителей сред – рукавов,шлангов и т.д.)
- n_{7A} - завалка клетки

B – подготовка калибрующих устройств (блоков, клетей)

- n_{1B} - нарезка валков калибрующих клетей(блоков)
- n_{2B} - сборка калибрующих клетей(блоков)
- n_{3B} - настройка (с обвязкой) калибрующих клетей(блоков)
- n_{4B} - завалка клетей(блоков)

.

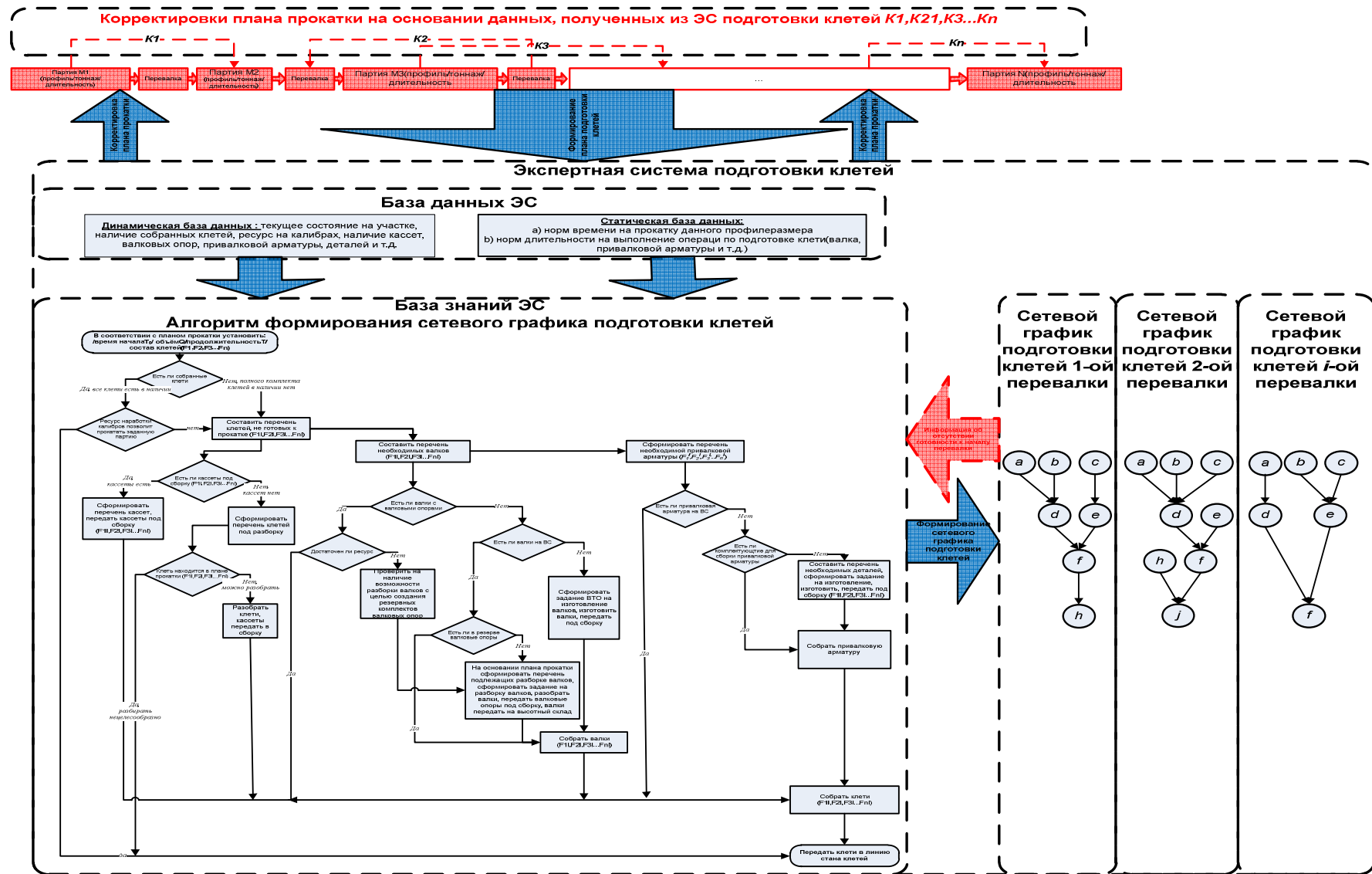


Рис.3 Реализация экспертной системы оперативного управления процессом подготовки клеток на примере работы участка перевалки стана 350 СПЦ-2 ОАО ОЭМК.

C – подготовка ножниц и пил

- n_{1C} - подготовка ножей(заточка и сборка)
- n_{2C} - подготовка(наплавка, заточка, сборка) пильных дисков
- n_{3C} -завалка(сборка) в линии стана

D – подготовка устройств термомеханической обработки

- n_{1D} - подготовка и настройка труб ТМО
- n_{2D} - завалка труб ТМО

E – прочие операции

Динамическая (оперативная) база данных формируется оперативным технологическим персоналом участка в режиме реального времени:

- наличие и состав собранных рабочих клетей;
- наличие и состав клетей калибрующего блока;
- количество и типоразмеры свободных кассет рабочих клетей;
- наработка на калибрах существующих валков и количество выполненных переточек;
- наличие нарезанных валков на высотном складе;
- наличие и состав собранных валков;
- наличие и состав собранной привалковой арматуры;
- количество и типоразмеры свободных комплектов валковых опор под сборку;

Таким образом, динамическая база данных является зеркалом, отражающим текущую картину степени готовности оборудования, расходных материалов, персонала к прокатке i -го профиля без предварительной подготовки.

База знаний экспертной системы формируется на основании совместной работы экспертов, т.е. специалистов планово-распределительного бюро, технологических служб участков вальцетокарной обработки, подготовки рабочих клетей, сборки привалковой арматуры, шаблонной мастерской с одной стороны и инженера по знаниям и программиста с другой стороны, задача которых выявить и структурировать знания, необходимые для работы ЭС, осуществить выбор и разработку (при необходимости) ИС, выделить и выполнить программирование стандартных функций и т.д.

Разработка и внедрение экспертной системы планирования процесса прокатки, с базой данных, сформированной на основании норм длительности технологических и подготовительных операций, позволит как повысить эффективность принимаемых решений в результате повышения точности исходной информации, так и снизить степень

субъективности принимаемых решений, а также повысить кадровую безопасность производства, устранив его нестабильность, возникающую в результате ухода специалиста (увольнение или перевод на другую работу) путём сохранения опыта экспертов в базе знаний ЭС.

Список литературы.

1. Гайфулин Б.Н. Современные системы управления предприятием. КомпьютерПресс. 2001г. №9 С46-55
2. Ильенкова С.Д. Инновационный менеджмент. М. ЮНИТИ 2000г. 327 с

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ И СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМИ РАБОТАМИ НА ОБЪЕКТАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А.Ю. Ерёмченко

ОАО ЛГОК, Старый Оскол

e-mail: al.eremenko@mail.ru , телефон : 8-951-151-20-19

***Аннотация:** Современные рыночные условия формируют среду жесткой конкуренции, которая требует от участников постоянного повышения эффективности. В свою очередь высокий уровень эффективности производственной деятельности может достигаться снижением затрат, повышением производительности труда, качества продукции, мобильности и оперативности принимаемых управленческих решений. Интеллектуализация управления ремонтными работами - ключ к повышению производительности и эффективности работы промышленного оборудования.*

***Ключевые слова:** интеллектуализация управления, ремонтное подразделение, ремонт оборудования.*

STUDY ON INTELLECTUALIZATION OF DISPATCHING CONTROL SYSTEM OF REPAIR, CONSTRUCTION AND ASSEMBLING OPERATIONS FOR PLANTS OF MINING AND SMELTING INDUSTRY

A.Y. Eremenko

JSC LGOK, Stary Oskol

e-mail: al.eremenko@mail.ru , 8-951-151-20-19

Abstract: *Modern market conditions form the environment of a rigid competition which demands from participants of constant increase of efficiency. In turn, level of efficiency of industrial activity can be reached by decrease in expenses, increase of productivity, quality of production, mobility and efficiency of accepted administrative decisions. Intellection managements of repair works – key for increase of productivity and efficiency produce equipments.*

Keywords: *Intellection managements, repairs division, repair of equipment.*

Одним из основных факторов, влияющих на повышение производительности оборудования предприятия является снижение продолжительности выполнения ремонтных работ (РР). Выполнение СМР и РР, выполнение капитальных ремонтов (КР) оборудования на предприятиях горно-металлургического комплекса характеризуется значительной трудоёмкостью, материальными и энергетическими затратами, требует высокого уровня оперативного управления в работе ремонтных, технологических, финансовых, коммерческих и многих других служб предприятия в части обеспечения и выполнения СМР и РР.

На рисунке 1 представлена фактическая структурная схема оперативного управления выполнением РР (СМР). Представленная схема является лишь срезом в плоскости одной ремонтной службы, объёмного, пространственного, или даже гиперпространственного отображения схемы выполнения РР (СМР) различными службами подразделения и предприятия в целом. Основное управляющее и координирующее воздействие на субъекты выполнения ремонтов (*R*) осуществляется многоуровневой иерархической системой менеджеров ремонтной службы (техническими менеджерами (ТМ)) осуществляющих управляющее и координирующее воздействие на субъекты ремонта сгруппированные, обычно по территориальному или функциональному признаку $A(1,2... a) - N(1,2..n)$.

На схеме отчётливо видны зоны возникновения временных разрывов между поступлением информации о возникновении ситуаций, повлекших возникновение НЗРВ и управляющим воздействием на субъекты выполнения ремонта.

Текущие (оперативные или тактические) задачи в выполнении РР решаются в рамках службы, верхним уровнем которой является её руководитель – технический менеджер I уровня, А, В... N – работ, мест выполнения ремонта или структурных ремонтных единиц, в должности мастера или старшего мастера.

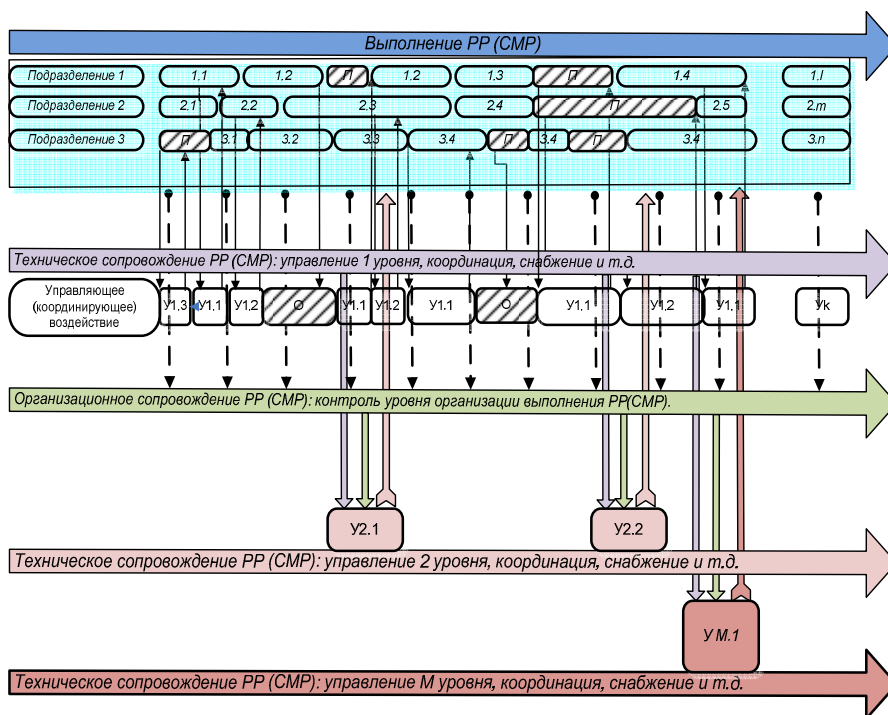


Рис. 1 Схема оперативного управления ходом РР (СМР) в режиме реального времени(потоке выполнения работ)

Более высокий, 2-й уровень представлен управлением на уровне ремонтной службы – технический менеджер в должности механика службы, заместителя или помощника руководителя подразделения по данному направлению. Как видно из схемы дискретность получения информации, принятие управленческих решений и проведение корректирующего воздействия возрастает и определяется чаще всего периодом проведения оперативных совещаний службы, обычно при высокой интенсивности выполнения работ 2 раза в сутки.

Верхним, является управление на уровне начальником ремонта – обычно руководителя подразделения-заказчика или главного инженера (уровень *KU*) . Дискретность проведения оперативных совещаний под руководством которого, в зависимости от интенсивности выполнения работ может колебаться от одного-двух раз в сутки до одного раза в неделю.

На многих предприятиях предусмотрена структура, осуществляющая контроль за эффективностью использования рабочего времени на ремонте в задачи которой входит выявление фактов и установления причин возникновения непроизводительных затрат рабочего времени(Рис.2).

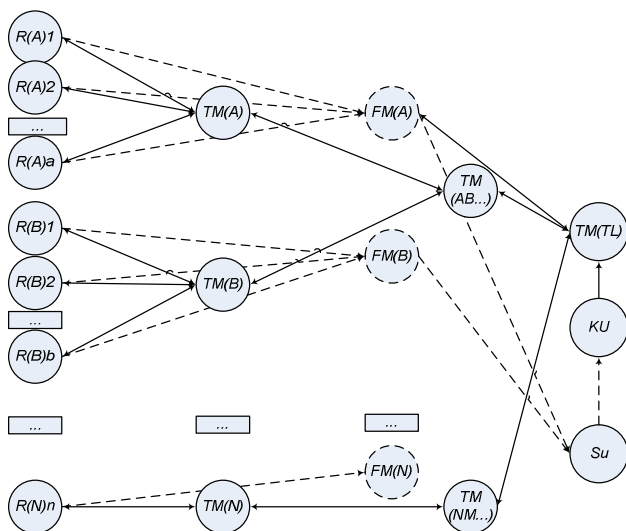


Рис. 2 Схема взаимодействия участников выполнения ремонтных(строительно-монтажных работ) выполнения ремонтных работ.

Низкая эффективность рассмотренной системы управления обусловлена несвоевременностью (постфактум) поступления управляющего воздействия на субъекты ремонта – объём НЗРВ на указанный момент становится состоявшимся фактом и изменён быть уже не может.

Повышение эффективности работы системы управления ремонтными работами лежит во включении системы контроля за НЗРВ в систему координации и управления, переход от исключительно фискальных функций к управленческим, созданию эффективной системы «человек-машина» по оперативному управлению ремонтными работами, корректировке оперативного графика РР, формированию рекомендаций (подсказок) лицам, принимающим решения(ЛПР) при выполнении РР.

Таким образом, можно сформулировать основные требования к системе оперативного управления СМР и РР:

- наличие единого центра диспетчеризации производства работ;
- обработка больших объёмов информации в режиме он-лайн и выдача оптимального управленческого решения;
- прогнозирование всех вариантов последствий предпринятых корректирующих действий и перестроение сетевого графика выполнения работ в соответствии с внесёнными коррективами;
- снижение зависимости принятия решений от субъективных факторов;

. Данные работы выполняются специально выделенными сотрудниками – полевыми менеджерами(FM) путём проведения графической, или чаще моментной фотографии рабочего времени Данные, полученные в ходе исследования обрабатываются, обобщаются и предоставляются, обычно на верхний уровень управления (KU) в виде сводок или отчётов. По завершении ремонта проводится анализ причин возникновения НЗРВ и разрабатываются мероприятия по их снижению в ходе следующего

- использование для построения исходного сетевого графика выполнения работ и его оперативной корректировки технически-обоснованной базы норм длительности выполнения ремонтных(строительно-монтажных) операций;

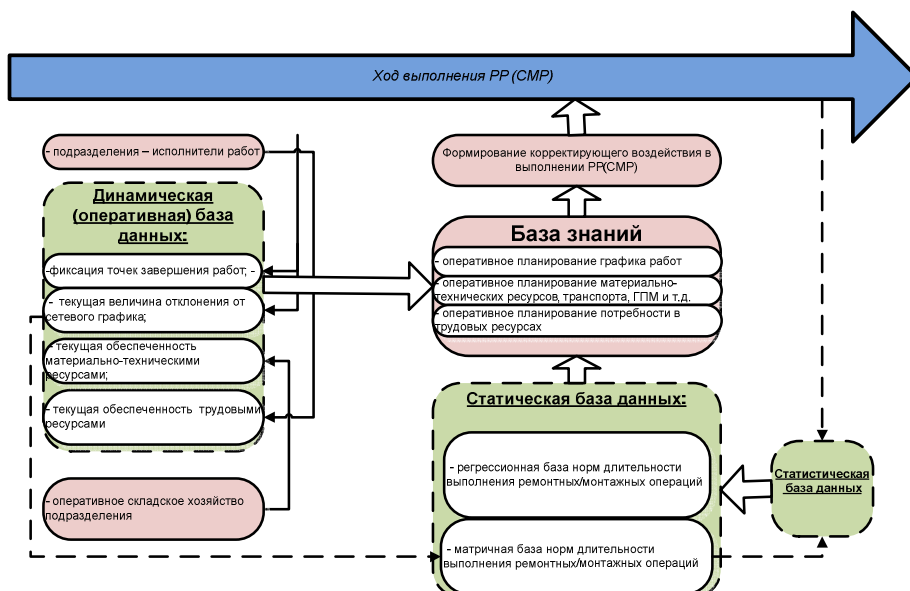
Указанные требования выявили необходимость принципиально нового подхода к организации и управлению СМР и РР крупных промышленных объектов.

На основании вышеизложенного становится **актуальной разработкой высокоэффективной системы «человек-машина», позволяющей объективно, в режиме реального времени осуществлять оперативное управление СМР и РР крупных промышленных объектов обеспечивая высокую вероятность принятия решений близких к оптимальным, исключая возможность принятия ошибочных и малоэффективных решений, в условиях высокой кадровой безопасности производства.**

Анализ современных средств интеллектуализации систем принятия управленческих решений позволяет предположить возможность разработки такой системы с использованием **экспертных систем или мультиагентных сетей.**

На рисунке 3 представлена принципиальная схема основных элементов экспертной системы по управлению ремонтными и строительно-монтажными работами.

Как и в любой классической экспертной системе можно выделить два основных блока – база данных и база знаний.



Учитывая динамичный характер системы, для управления которой разрабатывается экспертная система, база данных может быть также разбита на два блока – динамическая база данных – основанная на формировании текущей информации о ситуации на объекте, и статическая –

Рис. 3 Формирование экспертной системы оперативного управления РР (СМР)

основанная на основе данных не изменяющихся во времени, например нормы длительности выполнения ремонтных операций, оптимальный состав и численность бригад необходимых для выполнения того или иного вида работ и т.д.

Сбор информации осуществляется средствами объективного контроля за ситуацией на объекте(рис.4) которые передают текущую информацию на устройства анализа видеоряда которые оценивают характер выполнения работ, их производительную ценность, продолжительность выполнения и т.д. Результаты анализа поступают на динамическую базу данных, в которой хранится текущая информация о состоянии объекта и субъектов выполнения РР. Одновременно группа полевых менеджеров (супервайзеров) осуществляет контроль за выполнением субъектами текущих ремонтных операций, оценивают интенсивность выполнения РР, выявляют места возникновения НЗРВ, устанавливают их причины и принимают меры к их устранению.

Первичная информация, полученная в результате обработки видеоряда о возникновении НЗРВ и необходимости проведения корректирующих мероприятий также поступает полевому менеджеру – такая схема позволяет снизить численность полевых менеджеров и расширить их зону обслуживания. Одновременно указанная информация поступает координатору РР, который оценивает обстановку на всём объекте, осуществляет взаимодействие с техническими менеджерами верхнего уровня, перераспределяет полевых менеджеров по объектам и оперативно координирует их действия.

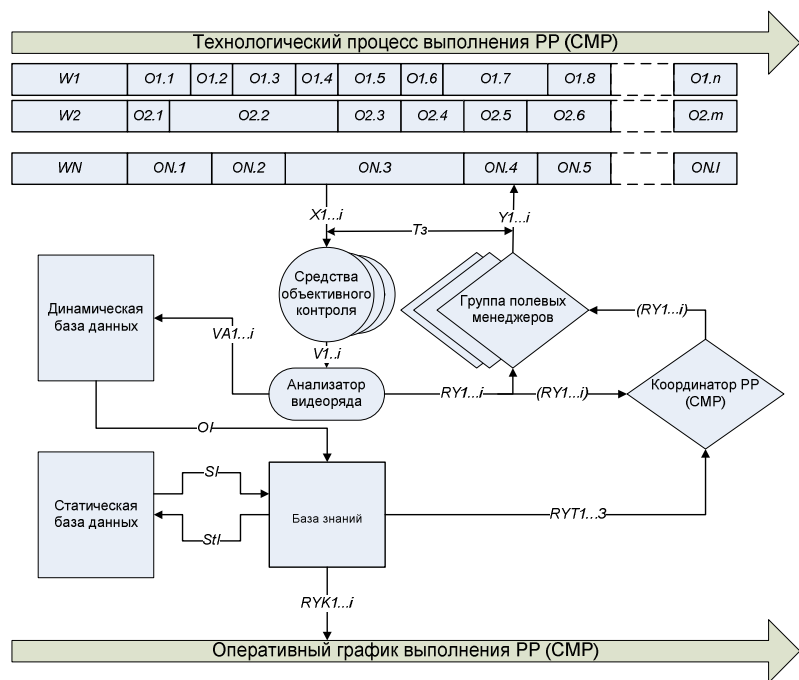


Рис. 4 Схема технической реализации системы оперативного управления РР(СМР)

основании данных, полученных в результате интервьюирования специалистов, формирующих оперативный график ремонта оборудования и осуществляющих оперативное управление ремонтом – мастера, механики и энергетики участков, подразделений и т.д.

В задачи координатора входит также анализ текущей ситуации, оценка соответствия выполняемых работ, работам установленным графиком, введение данных об отклонении (по контрольным точкам) в аналитический блок экспертной системы и доведение рекомендуемых системой корректирующих мероприятий до сведения исполнителей работ. Формирование базы знаний осуществляется специалистом по знаниям на

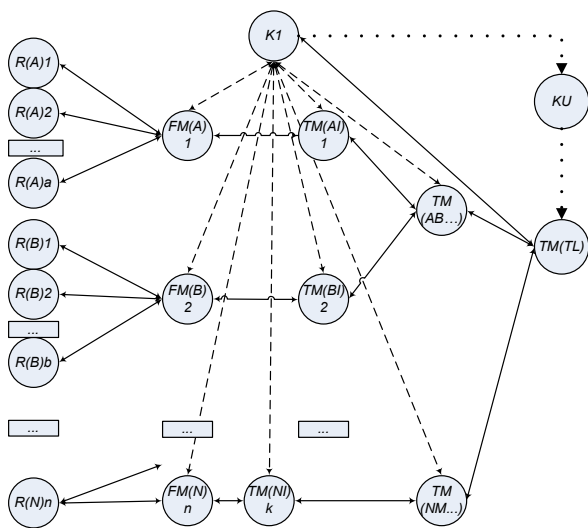


Рис. 5 Целевая схема взаимодействия элементов ЭС

менеджерами нижнего уровня, а также связи управляющего и координирующего характера в он-лайн режиме от координатора к полевым менеджерами и техническим менеджерам верхних уровней.

Таким образом, при общем повышении текущей эффективности управления РР меняется характер информации, поступающей на уровень оперативного совещания – она отображает не только объём НЗРВ и причины их возникновения, но и мероприятия позволившие их устранить, на основании чего и оценивается эффективность деятельности ремонтной и координирующей служб при выполнении РР.

Список литературы

1. Г.В. Соплкин Н.А. Ченцов В.А. Сидоров Принципы построения экспертной системы обслуживания оборудования. Сб. научных статей «Прогрессивные технологии и системы машиностроения» Вып. 3 Донецк, ДонГТУ, 1996. С115-124
2. Г. .В. Сопилкин Оптимизация длительности текущих и капитальных ремонтов. Metallургическая и горнорудная промышленность. 1994 № 12 С. 69-71
3. Сидоров В.А., Седуш В.Я. Изменения в ремонтных структурах металлургических предприятий / Metallургическая и горнорудная промышленность. - 2009. - №6. - С. 76-78.
4. Ремонтная служба: вчера, сегодня, завтра // Компания НЛМК. - 2010. - №3. - С. 8-15.
5. Еременко А.Ю. Интеллектуализация выполнения ремонтных работ. Материалы всероссийской научно практической конференция СТИ НИТУ мисиС. Ноябрь 2012г.

На рисунке 5 представлена целевая структурная схема взаимодействия субъектов выполнения РР, а также субъектов управления и координации в виде сети, построенная на основе представляемой в статье экспертной системы. На указанной схеме представлены связи управляющего и координирующего характера на нижнем иерархическом уровне между полевыми менеджерами, субъектами выполнения РР и техническими

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ
ПОДСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА**

Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Полещенко Д.А., Петров В.А.

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
79040882508@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные аспекты процесса управления прокатными станами и выявлены его особенности, требующие адаптивной подстройки параметров регулятора. Предлагается применение системы с настройкой параметров ПИД-регулятора с помощью нейросетевого оптимизатора.*

***Ключевые слова:** нейронная сеть; ПИД-регулятор, прокатная клеть, оптимизация процесса проката; реверсивная клеть дуо; энергоэффективность проката; повышение качества проката.*

**ON THE POSSIBILITY OF NEURAL NETWORKS USAGE FOR PID-CONTROLLER
PARAMETERS ADJUSTMENT IN AUTOMATED ROLLING MILL CONTROL SYSTEM**

Y.I. Eremenko, A.I. Glushchenko, Poleshchenko D.A., V.A. Petrov

*Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol*

***Abstract.** The main reasons for adaptive control system design for rolling mills control are shown. A neural tuner is suggested as a mean for PID-controller parameters djustment.*

***Keywords:** neural network; PID-regulator, rolling mill, rolling process control optimization, duo reversing rolling mill, rolling energy efficiency, rolling quality increasing.*

В условиях современной промышленности существующие автоматизированные системы управления металлургическими процессами нуждаются в совершенствовании.

Металлургические процессы, как правило, относятся к классу сложных объектов управления с характерными для них нелинейностью, неоднозначностью, нестационарностью характеристик, большими транспортными и переходными запаздываниями, многосвязанностью каналов управления, высоким уровнем

контролируемых и неконтролируемых возмущений, неполного контроля параметров и др. В связи с этим автоматизированные системы на основе ПИД-регуляторов не всегда способны достигать заданной цели управления такими процессами. [1]

Одними из самых сложных для автоматизации объектами считаются обжимные прокатные станы. Причиной этого является сама технология реверсивной прокатки: заготовка многократно проходит сквозь прокатные валки вперед и назад, при каждом проходе изменяется раствор валков, производится передача металла из калибра в калибр и выполняются повороты заготовки на 90 градусов (кантовки). Из-за большого количества механизмов, участвующих в процессе прокатки, нестабильности состояния металла по температуре, форме слитка, наличию окалины процесс прокатки даже двух следующих друг за другом слитков может отличаться, особенно при первых проходах через прокатные валки. [2]

Технологическая схема на участках производства сортового проката в общем виде представляет комплекс из трех основных операций: нагрев заготовки; горячую прокатку необходимого профилеразмера; охлаждение и отделку.

Сортовой прокат — наиболее массовый вид прокатной продукции — характеризуется широким сортаментом по форме и размерам профилей. [3]

Задача управления сортопрокатным станом в основном сводится к регулированию толщины проката. Цель регулирования – получение проката заданной толщины независимо от разнотолщинности подката, скорости прокатки и других возмущающих факторов.

При отсутствии упругих деформаций в элементах клетки, полоса на выходе из валков имела бы толщину H точно равную предварительно установленному зазору S :

$$H = S \quad (1)$$

Однако, все элементы в прокатной клетке – физические тела, подчиняющиеся законам упругости. Если начальный зазор между валками S меньше, чем толщина входной полосы $H_{вх}$, в валках будет происходить обжатие и в результате пластической деформации на валки будут действовать силы, характеризующиеся равнодействующей давления металла на валки P (усилие прокатки). Элементы прокатной клетки будут упруго деформироваться, в результате чего выходная толщина полосы не будет равна установленному начальному зазору, а будет больше его на величину суммарной упругой деформации системы клетки. Суммарная упругая деформация складывается из деформаций нагруженных деталей клетки.

$$P = \frac{B \cdot X_1 \cdot H_0}{2\mu} \left[\frac{1}{\varphi} \left(\frac{X_0}{X_1} \right)^\varphi \cdot e^m - \left(\frac{X_0}{X_1} - 1 \right) - \frac{1}{\varphi} \right], \quad (2)$$

где B – ширина полосы;

μ – коэффициент трения;

$$\varphi = H_0 / (H_0 + H_1);$$

H_0, H_1 – толщина полосы до и после обжатия;

$$X_1 = 2k_1 - \sigma_1; X_0 = 2k_0 - \sigma_0; 2k_1 = 1.15 \cdot \sigma_{s1}; 2k_0 = 1.15 \cdot \sigma_{s0};$$

σ_0, σ_1 – удельное заднее и переднее натяжения;

$$\sigma_{s0} = \frac{T_0}{B \cdot H_0}; \sigma_{s1} = \frac{T_1}{B \cdot H_1};$$

σ_{s0}, σ_{s1} – предел текучести материала полосы до и после обжатия;

$$m = 2 \cdot \mu \cdot \frac{1}{(H_0 + H_1)};$$

l – длина дуги с учетом сплющивания валков.

Длину дуги захвата определяют из условия:

$$l = R(H_0 + H_1) + \frac{P \cdot R}{4500 \cdot B}, \quad (3)$$

где R – радиус недоформированного рабочего валка.

Выходная величина H_1 является неявной функцией входной толщины H_0 , усилия прокатки P , входного и выходного натяжений T_0, T_1 соответственно, пределов текучести прокатываемого материала на входе и на выходе σ_{s0}, σ_{s1} , и радиуса рабочего валка R . Явно выразить толщину полосы на выходе стана H_1 через входную толщину H_0 практически невозможно.

Сплавы металлов могут сильно отличаться по сопротивлению деформации металла (зависит от марки сплава и степени наклепа), толщине и ширине. Как следствие, передаточные коэффициенты – системы «клеть-полоса» изменяются в широких пределах: по перемещению нажимного механизма – более чем в 4 раза, а по изменению натяжения полосы – более чем в 15 раз. Вредное влияние этих изменений на устойчивость и быстродействие усугубляется транспортным запаздыванием измерения толщины. Таким образом передаточный коэффициент стана по основному возмущающему воздействию – изменению входной толщины – меняется до 10 раз, что также приводит к необходимости использования системы перенастройки параметров регулятора. [4]

Кроме того, подобное требование определяется еще и тем фактором, что на разброс параметров системы влияют устаревание оборудования, появляющийся со временем люфт в механической части клетки, смена валков и температурные изменения.

Анализ режимов обжатия слитков в дуо реверсивных клетях, проведенный в работе [5], позволяет сделать вывод, что приоритетным фактором при прокатке в дуо реверсивной клетки является захватывающая способность валков, которая зависит от состояния поверхности валков и прокатываемого металла, температуры металла и скорости вращения валков, формы и размеров калибров, пластичности металла и др.

Кроме того, что значительные энергетические потери возникают в процессе захвата заготовки валками клетки из-за неточности настройки системы на каждый конкретный проход прокатки.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что в целях повышения энергоэффективности клетки необходимо использование адаптивных систем управления в электроприводах прокатных станов.

Существуют различные методы адаптации параметров регулятора: детерминирование [6,7] и интеллектуальные. Проведенные исследования показали, что среди методов искусственного интеллекта одним из наиболее эффективных для решения подобных задач является применение искусственных нейронных сетей. В частности, к этим методам можно отнести нейросетевой оптимизатор (рис.1), предложенный нами в работах [8,9].

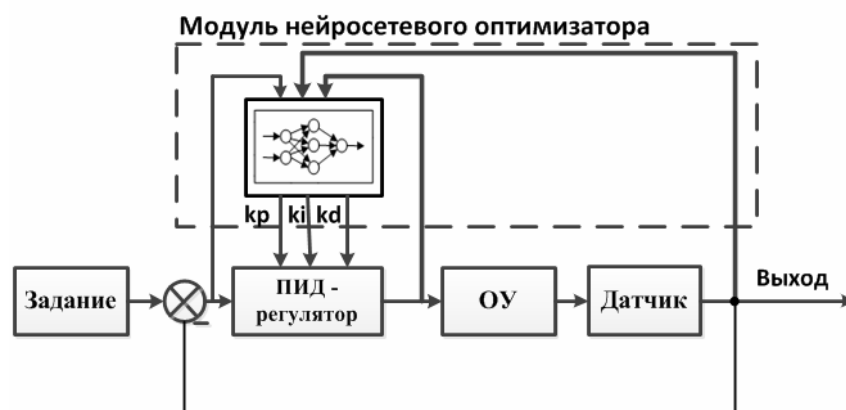


Рис.1 Схема нейросетевого управления с самонастройкой

Такая схема позволяет учитывать нелинейные свойства объекта, не внося значительных изменений в существующую схему управления. Необходимо лишь подключить НС к существующей системе, что существенно снижает стоимость внедрения такой интеллектуальной надстройки. [9]

Предполагается, что успешная реализация системы электропривода с применением регуляторов с подстройкой параметров с помощью искусственной нейронной сети позволит:

- повысить качество и долговечность оборудования прокатных станов, улучшить качество проката [10];
- устранить автоколебания, возникающие в прокатных станах, которые являются механической системой с нагрузкой «пара трения» [11];
- улучшить энергоэффективность за счет более адекватной настройки регуляторов в каждом режиме работы клетки.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты №12-07-00252-а, 13-08-00532-а

Список литературы

1. Кадыров Э. Д., Котелева Н. И. Внедрение нейросетевых алгоритмов в структуру автоматизированной системы управления металлургическими процессами // *Металлург.* - 2010. -№12. - С.27-29.
2. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А., Горелик В.С. // *Технология прокатного производства. Учебное пособие.* -1989.
3. Авдеев В.А. и др. Основы проектирования металлургических заводов: Справочное издание /В.А.Авдеев, В.М. Друян , Б.И.Кудрин . - М.: «Интермет Инжиниринг»,2002г— 464с:ил
4. Мурачев Е.Г., Иванов А.А. О некоторых особенностях применения нейросетевой технологии в АСРТ прокатного стана // *Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ».* – 2010. - С.126-134.
5. Чумаков В.П. Совершенствование процесса прокатки в дуо реверсивной клетки // *Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ".* - 2010. - С.36-41.
6. Кудинов Ю.И., Келина А.Ю. Упрощенный метод определения параметров нечетких ПИД регуляторов // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2013. – № 1. – С.12–22.
7. Alexandrov A.G., Palenov M.V Self-tuning PID-I controller : *Proceedings of the 18th IFAC World Congress. Milano, Italy, 2011.* – P. 3635–3640.
8. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Литвиненко А.М., Рындин А.А., Подвальный Е.С. Об оценке эффективности применения нейросетевого оптимизатора параметров ПИД-регулятора для управления нагревательными объектами // *Системы управления и информационные технологии.* – 2013. – Т. 53. – № 3.1. – С. 137-141.
9. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Ярмуратий Д.Ю. Об интеллектуальной адаптации параметров пид-регулятора для снижения энергопотребления управляемого

процесса // Научные ведомости Белгородского государственного университета. - 2013. - № 22-1 (165). - С.210-217

10. Мещеряков В.Н., Мигунов Д.В. Математическое моделирование способа снижения динамических нагрузок электропривода черновой клетки прокатного стана // Электротехнические комплексы и системы управления. - 2011. - №3. - С.21-26

11. Ланграф С.В., Глазырин А.С., Козлова Л.Е., Глазырина Т.А., Тимошкин В.В., Афанасьев К.С. Разработка и исследование нейросетевого регулятора для электропривода с механической нагрузкой типа «пара трения» // Доклады ТУСУРа. - 2011. - № 1(23). - С.171-177.

УДК 004.896, 669.181.24, 007

ОБ ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЗАГРУЖЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА ШАХТНОЙ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

Ю.И. Еременко, А.А. Невзоров

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
titan00756@gmail.com

Аннотация. Произведено сравнение поступающей информации с пропускной способностью человека на основе методов теории информации

Ключевые слова: человек-оператор; зрительный анализатор; информация; искусственный интеллект; шахтная печь.

ABOUT EVALUATION OF THE DEGREE OF CONGESTION THE HUMAN OPERATOR SHAFT FURNACE BASED ON THE METHODS INFORMATION THEORY

Y.I. Eremenko, A.A. Nevzorov

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol
titan00756@gmail.com

Abstract. A comparison of incoming information with capacity a person based on methods of information theory.

Keywords: human-operator; visual analyzer; information; artificial intelligence; shaft furnace.

Введение

В промышленности, современная автоматизированная система управления технологическим процессом представляет собой сложный программно-аппаратный

комплекс, содержащий большое количество компонентов: датчиков, контроллеров управления технологическими процессами, станций операторов и т.д.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в области автоматизации систем управления технологическими процессами, человек-оператор остается неотъемлемой частью таких систем. Ввиду того, что существует ряд технологических процессов (процесс управления шахтной печью), для которых, несмотря на существующие достижения в теории управления, так и не удалось построить полностью автоматическую систему регулирования. Это связано как со сложностью процесса, так и с трудностью формализации знаний опытного оператора.

В тоже время существует относительно высокая вероятность ошибок в принятии решений, в виду чрезмерного напряжения нервной системы и накопленной усталости человека. Поэтому, эффективность функционирования систем человек-объект зависит от ограниченных возможностей человека, как живого организма

Для ответа на вопрос о степени загруженности оператора шахтной печи целесообразно оценить количество получаемой им информации в системе управления в сравнении с пропускной способностью человека. Основным источником информации в системах управления шахтной печи является зрительный канал на основе анализа видеоинформации с мониторов.

1. Оценка пропускной способности зрительного анализатора

В работе [2] была произведена оценка пропускной способности зрительной системы согласно:

$$C = \frac{n \cdot \log_2 N}{T}, \quad (1)$$

где T – время предъявления, а n – число предметов, правильно опознанных за это время, N – число предметов в наборе.

За время T здесь следует принять 0.27 сек. – время, пока сообщение сохраняется в кратковременной памяти и как бы предъявляется для осуществления выбора. Поскольку при однократном предъявлении группы букв наблюдатель воспринимает в среднем 4.5 буквы, каждая из которых содержит 4.3 бит, то

$$C = \frac{4.5 \cdot 4.3}{0.27} = 72 \text{ бит/сек.}$$

Согласно [4,5,7,8], пропускная способность зрительной системы составляет 1.08 – 1.48 бит/сек. Количественные показатели различных авторов о пропускной способности различаются в разы: от 0.5 бит/сек. до 70 бит/сек. Такое большое различие во многом зависит от методов оценки. В нашем случае возьмем максимальную среди имеющихся оценок и сравним ее с информационным потоком, воздействующим на человека в реальных условиях.

2. Оценка информационного потока, воздействующего на человека

Энтропия информационного потока, действующего на человека, может быть представлена в виде [1]:

$$H = H_c + H_{\text{э}} \quad (2)$$

где: H_C – разнообразие, дающее возможность передавать различную внеязыковую (семантическую) информацию.

$H_{\text{э}} = H_{\text{integral}} + H_{\text{differential}}$ – разнообразие, обеспечивающее гибкость выражения (эстетическая энтропия).

2.1 Оценка H_C

Минимально необходимое количество информации I^* , которое должно быть получено и переработано системой для выбора частного гиперобъема V^* из всего априорного гиперобъема V_0 , равно энтропии снятия соответствующей неопределенности H_C :

$$I^* = H_C = \log_2 \left(\frac{V_0}{V^*} \right) \quad (3)$$

где: V_0 – совокупность возможных значений множества параметров, описывающих состояние или положение системы; $V^* = 1$ – частный случай, одно возможное значение, принимаемое системой.

$$V_0 = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (4)$$

где: k – количество параметров, за которыми производится наблюдение; $n = k \cdot 10$ – общее количество состояний всех наблюдаемых величин, основываясь на том, что каждая величина может принимать минимум 10 состояний.

$$H_C = \log_2 \left(\frac{n!}{k!(n-k)!} \right) \quad (5)$$

2.2.1 Оценка H_{integral}

Источник визуальных сообщений рассматривается здесь как некоторая поверхность Γ , излучающая или отражающая лучистую энергию.

Энтропия такого источника имеет вид:

$$H_{\text{integral}} = \log_2 m_p m_{\Lambda} \quad (6)$$

где m_p и m_{Λ} – количество различных градаций по яркости и по спектру.

2.2.2 Оценка $H_{\text{differential}}$

Дифференциальный источник визуальных сообщений рассматривается как совокупность множества L интегральных источников достаточно малой поверхности Γ .

Энтропия дифференциальных источников визуальных сообщений имеет вид:

$$H_{\text{differential}} = L \log_2 m \quad (7)$$

где L – количество интегральных источников, совокупность которых образует дифференциальный источник изображения, m – алфавит интегрального источника (любого из множества L), т.е. количество градаций его параметров.

2.3 Расчет информационной нагрузки на оператора шахтной печи

Рассчитаем H_C согласно формулы (5):

$$H_C = \log_2 \left(\frac{n!}{k!(n-k)!} \right) = \log_2 \left(\frac{4000!}{400!(4000-400)!} \right) = 1870 \text{ [бит]}$$

Рассчитаем $H_{\text{э}}$. Для этого возьмем скриншоты операторского интерфейса управления шахтной печью металлургии ОАО "ОЭМК". Данная система представляет собой 10

экранных форм (рис.1), в рамках которых оператор получает информацию и может вносить управляющий воздействия. Для каждой формы необходимо рассчитать параметры H_{integral} и $H_{\text{differential}}$.

$$H_{\text{с}}^{CP} = \frac{\sum_{i=1}^{10} (H_{\text{integral}} + H_{\text{differential}})_i}{10} \approx 381 [\text{бит}]$$

– результат расчетов средней эстетической

энтропии изображения для 10 форм.

$H = H_{\text{с}} + H_{\text{с}}^{CP} = 1870 + 381 = 2251 [\text{бит}]$ – общий поток информации, действующий на оператора.

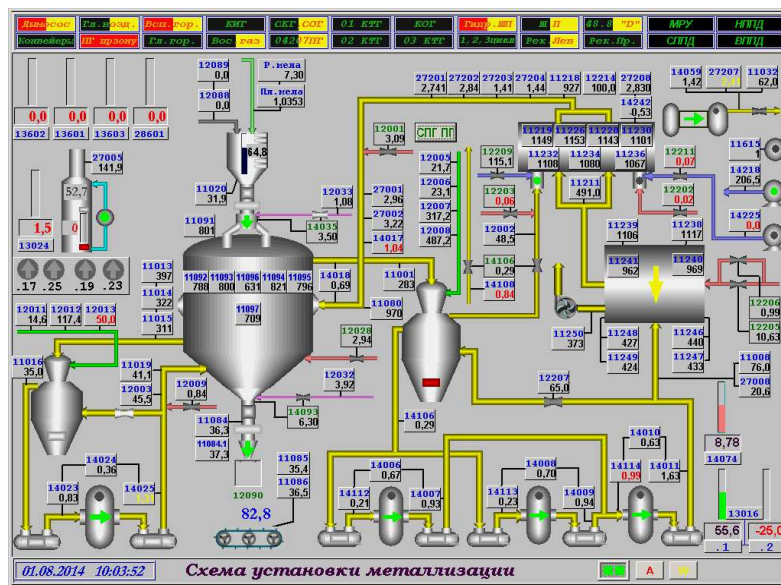


Рис.1. Экранная форма. Схема установки металлизации

Сравним поток информации, действующий на оператора шахтной печи, с его предельной пропускной способностью: $C = 70 [\text{бит/сек}]$ – пропускная способность зрительной системы; Значит, количество информации, которое человек может воспринять визуально за единицу времени, будет составлять $H_0 = 70 [\text{бит}]$. Количество поступающей информации человеку (через зрительную систему) в $N = \frac{H}{H_0} = \frac{2251}{70} \approx 32$ раза больше его

пропускной способности. На основе полученных результатов можно сделать вывод об информационной перегрузке оператора шахтной печи. Данный факт может иметь негативные последствия, такие как: рассеянное внимание, восприятие поступающей информации как шум, восприятие поступающей информации как полезной, снижение производительности труда, увеличение рисков производства.

Все дело в том, что по мере того как оператор приобретает опыт управления он интуитивно отфильтровывает малозначительную, второстепенную информацию, и ведет процесс по весьма ограниченному числу переменных. В случае с оператором шахтной печи их количество не превышает 20. В этом случае количество семантической информации при этом будет $H_{\text{с}} \approx 90 [\text{бит}]$, отсюда $H = H_{\text{с}} + H_{\text{с}}^{CP} = 90 + 381 = 471 [\text{бит}]$. Однако, при изменении состоянии работы системы, при внештатных ситуациях, в результате чего может

существенно снизится качество продукта на выходе, количество анализируемой человеком информации возрастет.

Можно сделать следующие выводы:

- Качество управления шахтной печью зависит от стажа работы и накопленного человеком опыта;
- Несмотря на полученные знания за годы работы, человек, по своей природе, всегда будет утомляться, на что мы не можем повлиять;
- Возникновение нештатных ситуаций ведет к увеличению энтропии и как следствие информационной перегрузки оператора.

Поэтому, на основе проведенных оценок необходимо совершенствовать систему управления с целью:

- Снижение информационного потока, действующего на оператора, без снижения его информативности.
- Модернизировать существующие информационные системы контроля технологического процесса, с которой работает оператор, за счет переноса ряда функций человека на ЭВМ, с помощью методов искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Коган И.М. Прикладная теория информации. – М.: Радио и связь. 1981. – 216 с.
2. Глезер В.Д., Цукерман И.И. Информация и зрение. – М.: АН СССР, 1961. – 180 с.
3. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D- изображений: учеб. пособие. – СПб.: БХВ – Петербург, 2011. – 608 с.
4. Тимченко Т.В., Ахмадеев Р.Р. Изменение зрительной работоспособности в ходе применения индивидуально-типологических алгоритмов восстановления зрительных функций у пользователей персональных компьютеров // Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: материалы III Международной научно-практической конференции. – Челябинск: Издательство Челяб. гос. пед. ун-та, 2010. – 275 с.
5. Прокопенко В.Т., Трофимов В.А., Шарок Л.П. Психология зрительного восприятия / Учебное пособие – СПб: СПбГУИТМО, 2006. – 73с.
6. Schober R. et al. *Milchwissetischaft*, 10: 220. 1955 Schober, R. & Prinz, I // *Milchwissenschaft*. – 1956. – Т. 11. – С. 466.
7. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. – М.: Издательство «Наука». 1981. – 512с.
8. Халфина Р.Р., Данилов А.В., Халфин Р.М. Взаимосвязь обработки зрительной информации и показателей функционального состояния зрительной системы при зрительном утомлении у пользователей персональными компьютерами // Вестник Челябинского государственного педагогического университета – Челябинск, 10/2012

**ОБ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ
НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

Еременко Ю.И., Поleshchenko Д.А., Глушченко А.И.

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
strondutt@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы выбора количества нейронов и функции активации для скрытого слоя нейронной сети, используемой для синтеза нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора. Для оценки эффективности каждой из структур определен ряд критериев и проведены эксперименты с моделями нагревательной печи.

Ключевые слова: нейронная сеть, ПИ-регулятор, нейросетевой оптимизатор.

**STUDY ON OPTIMIZATION OF NEURAL NETWORK STRUCTURE FOR PI-
CONTROLLER PARAMETERS REFINING TO NONLINEAR PLANTS CONTROL**

Eremenko Y.I., Poleshchenko D.A., Glushchenko A.I.

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol

Abstract. The questions of a hidden layer activation function and neurons number for a neural network is considered. This network is used to implement PI-controller parameters neural tuner. The optimization criteria's are chosen to estimate each neural network structure efficiency and set of experiments with heating furnace models is made to find optimal network structure.

Keywords: neural network, PI-regulator, neural tuner.

Введение

В настоящее время подавляющее большинство контуров управления технологическими процессами построены на основе ПИД-регуляторов. Данный закон управления является линейным, в то время как большинство реальных объектов управления (ОУ) обладают нелинейными характеристиками. Например, изменение задания, графика заданий, степени загрузки печи при постоянных коэффициентах ПИД-регулятора зачастую приводит к снижению качества регулирования и к росту энергозатрат [1].

Для решения указанной проблемы необходимо построение адаптивной системы управления технологическим процессом. Для создания таких систем разработано достаточно большое число методов. Среди них можно выделить группу классических методов, таких как: 1) метод Циглера-Никольса [2]; 2) методы, основанные на построении модели ОУ с помощью испытательного сигнала [1, 3]. Моменты времени, когда необходимо включать такие методы, определяются человеком, как и амплитуда испытательного сигнала.

Кроме того, для решения описанной проблемы могут быть использованы интеллектуальные методы. Среди них можно выделить подходы, в рамках которых настройка ПИД-регулятора осуществляется с помощью нечеткой логики [4, 5] и экспертных систем (ЭС) [6]. Проблемой подобных подходов является отсутствие механизма обучения. Также могут быть использованы нейронные сети (НС) [7-9].

Авторами данной работы предлагается скомбинировать метод применения НС с базой правил ситуаций, когда необходимо проводить такую настройку [8]. В качестве следствий в правилах будут выступать скорости обучения нейронов НС.

1. Реализация схемы управления с нейросетевым оптимизатором

В пакете Matlab была реализована схема управления (рис.1) объектом, представленным блоком Subsys2, с ПИД-регулятором (Subsystem) с нейросетевым оптимизатором (S-function neuC_PID). U_i , U_p , U_d , U_{pid} – сигналы управления на выходе i -, p -, d -каналов и всего ПИД-регулятора соответственно, e – текущее рассогласование. Блок Saturation использован для ограничения сигнала управления с ПИД-регулятора d диапазон [0;100]. U – управляющее воздействие. Блок Subsys2 – это ОУ.

Для моделирования в качестве объекта использовались математические модели незагруженной и загруженной металлической заготовкой муфельной электропечи СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И4, полученные путем идентификации. Коэффициенты модели пустой печи имели значения: $K_{пустая}=21$, $T_{1пустая}=1636$ с, $T_{2пустая}=69.4$ с, $\tau_{пустая}=64$ с, а для загруженной: $K_{загруж}=21$, $T_{1загруж}=2683.2$ с, $T_{2загруж}=35.37$ с, $\tau_{загруж}=90$ с.

Для проведения опытов были использованы следующие графики уставок, реализованные в блоке S-Func1: 1) $590^{\circ}\text{C} \rightarrow 640^{\circ}\text{C} \rightarrow 505^{\circ}\text{C} \rightarrow 590^{\circ}\text{C}$, 2) $590^{\circ}\text{C} \rightarrow 620^{\circ}\text{C} \rightarrow 570^{\circ}\text{C} \rightarrow 590^{\circ}\text{C}$, 3) $300^{\circ}\text{C} \rightarrow 330^{\circ}\text{C} \rightarrow 240^{\circ}\text{C} \rightarrow 300^{\circ}\text{C}$, 4) $150^{\circ}\text{C} \rightarrow 190^{\circ}\text{C} \rightarrow 100^{\circ}\text{C} \rightarrow 150^{\circ}\text{C}$. Для смены уставки температура должна удерживаться 30 минут в окрестности задания, равной 5% разности текущей и предыдущей уставки.

Для рассматриваемой модели незагруженной печи были подобраны оптимальные значения коэффициентов ПИД-регулятора: $K_p=0.2422$, $K_i=1.504 \cdot 10^{-4}$, $K_D=0$.

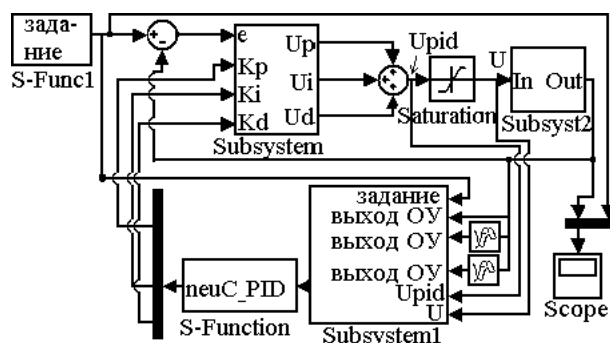


Рис.1 Реализация схемы управления с нейросетевым оптимизатором

2. Структура нейросетевого оптимизатора

Нейросетевой оптимизатор содержит в себе: 1) две идентичных нейронных сети для настройки коэффициентов регулятора для процессов нагрева и охлаждения соответственно, 2) базу правил, определяющую необходимо ли проводить оперативное обучение нейронной сети на данном такте, а также содержит правила, определяющие скорость обучения, 3) функцию установки начального состояния НС [8], 4) алгоритм обратного распространения ошибки для оперативного обучения сети [8].

Нейросетевой оптимизатор был реализован при помощи средств пакета Matlab – это S-функция neuC_PID (см. рис.1). Она имеет шесть входов (первые пять совпадают со входами НС): текущее задание по температуре; задержанный на 1 секунду, на 20 секунд и на 40 секунд сигнал по выходу ОУ; задержанный на 1 секунду сигнал управления до и после ограничителя управляющего воздействия. Внутри S-функции реализован алгоритм оперативного обучения НС. Скорость обучения определяется базой правил [4, 8].

Важным вопросом является выбор структуры НС. Состав нейронов входного слоя был выбран идентичным составу, использованному С. Омату в [7] при реализации подобной схемы управления. В выходном слое используется три нейрона и линейная функция активации. Задачей данной работы было определение оптимального количества нейронов и выбор функции активации для скрытого слоя НС.

3. Результаты экспериментов

В рамках исследования были проведены одинаковые по условиям эксперименты для 88 различных структур НС: количество скрытых нейронов изменялось в промежутке [2;45], использовались следующие функции активации: гиперболический тангенс и сигмоидальная.

Каждый из экспериментов для каждого из графиков заданий, указанных в п.1, идентичен описанным в [8]. Первоначально использовалась модель пустой печи для отслеживания текущего графика заданий, пока задание не было изменено 11 раз. Затем использовалась модель печи, загруженной литой заготовкой, и для нее повторялся указанный график заданий (вновь 11 смен заданий). Затем вновь производилось переключение на

модель пустой печи, и для нее также повторялся указанный график заданий (11 смен заданий). Было использовано три критерия для оценки успешности работы конкретной структуры НС: 1) время, потребовавшееся на выполнение указанного выше графика заданий, 2) СКО между заданием и выходом ОУ за все время опыта, 3) среднее значение перерегулирования в процентах за все время опыта.

Зависимости данных параметров от количества нейронов и функций активации в скрытом слое НС для графика заданий $590^{\circ}\text{C} \rightarrow 640^{\circ}\text{C} \rightarrow 505^{\circ}\text{C} \rightarrow 590^{\circ}\text{C}$ приведены на рис.2.

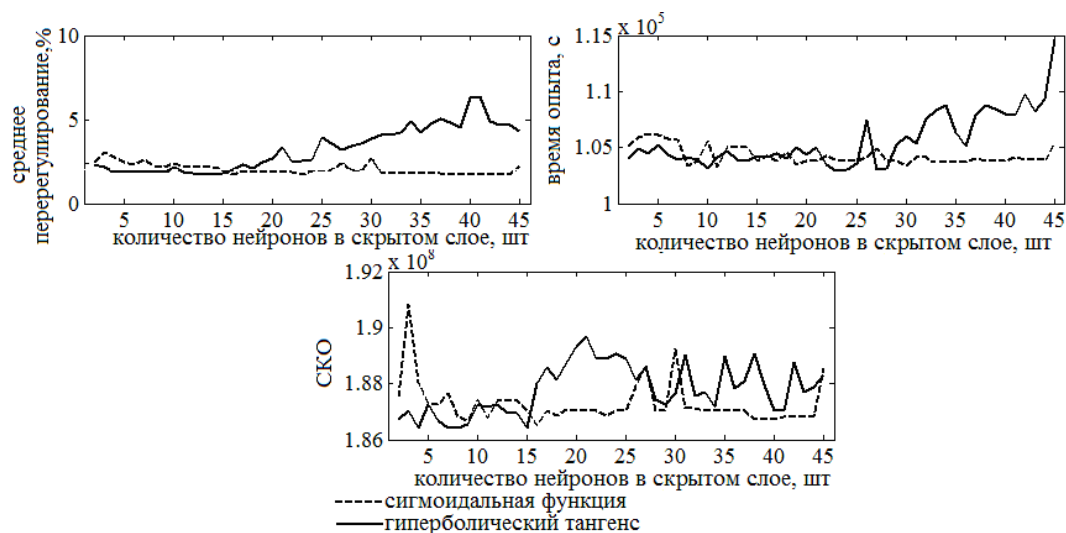


Рис.2. Показатели эффективности работы НС для графика заданий $590^{\circ}\text{C} \rightarrow 640^{\circ}\text{C} \rightarrow 505^{\circ}\text{C} \rightarrow 590^{\circ}\text{C}$

Допустимое значение среднего перерегулирования составило 2%. Данному критерию соответствуют следующие сети: 1) гиперболический тангенс: 11, 12, 13, 14, 15 нейронов в скрытом слое, 2) с сигмоидальной функцией: 24, 31-44 нейронов в скрытом слое. По три лучших значения СКО для каждой функции среди выбранных НС приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения критериев СКО и времени опыта

Количество нейронов в скрытом слое	Функция активации	СКО	Время опыта, с
13	Гип. тангенс	186939191	103878
14	Гип. тангенс	186947286	103815
15	Гип. тангенс	186436373	104278
38	Сигмоидальная	186724838	103571
39	Сигмоидальная	186724837	103571
40	Сигмоидальная	186724834	103571

Минимальное значение критерия СКО показала НС с 15 нейронами и функцией активации гиперболический тангенс в скрытом слое. Однако, время опыта для нее оказалось наибольшим среди указанных шести сетей. В то же время, отклонение времени опыта для НС с 15 нейронами от минимального (для 38 нейронов) составляет менее 1%.

В целом, подобные результаты были получены и для других графиков уставок. НС с 15 нейронами и тангенциальной функцией активации в скрытом слое оказалась единственной НС, отобранной для всех четырех рассмотренных графиков уставок.

Заключение

В целом для управления тепловыми объектами с помощью нейросетевой адаптации, на основе полученных результатов и графиков можно сделать следующий вывод - при количестве нейронов в скрытом слое НС меньшем либо равном 15 лучшие результаты показывает сеть с функцией активации гиперболический тангенс. При дальнейшем увеличении числа нейронов результаты данной НС ухудшаются.

НС с функцией активации гиперболический тангенс требует для достижения требуемых результатов 15 нейронов в скрытом слое, в то время как НС с сигмоидальной функцией активации требует 37-40 нейронов. Исходя из требований минимальности структуры НС, использование НС с 15 нейронами и функцией гиперболический тангенс в скрытом слое является наиболее выгодной.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты №12-07-00252-а и 13-08-00532-а.

Список литературы

1. Pfeiffer, В.-М. Towards "plug and control": self-tuning temperature controller for PLC // International journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2000. – №14. – Pp.519-532.
2. Ziegler, J. Optimum settings for automatic controllers. – 1942. – №65. – Pp. 759–768.
3. Alexandrov A.G., Palenov M.V Self-tuning PID-I controller. Preprints of the 18th IFAC World Congress. – 2 Sept. 2011. – Pp. 3635-3640.
4. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Об особенностях практической реализации схемы ПИД-нейрорегулятора с самонастройкой для управления печами нагрева // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2012. – № 1. – С.25-30.
5. Zhao Z.Y., Tomizuka M., Isaka S. Fuzzy gain scheduling of PID controllers // IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. – 1993. – Vol. 23, № 5. – Pp. 1392–1398.
6. Anderson K.L., Blankenship G.I., Lebow L.G. A rule-based adaptive PID controller : Proc. 27th IEEE Conf. Decision. Control, 1988. – P. 564–569.
7. Omatu, S., Khalid, M., Yusof, R. Neuro-Control and its Applications. – London: Springer, 1995. – 255 p.
8. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Литвиненко А.М., Рындин А.А., Подвальный Е.С. Об оценке эффективности применения нейросетевого оптимизатора параметров ПИД-регулятора для управления нагревательными объектами // Системы управления и информационные технологии. - 2013. - Т.53. - № 3.1. - С. 137-141.

9. Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Полещенко Д.А., Ярмуратий Д.Ю. Разработка модели шахтной печи металлизации на основе технологии нейронных сетей // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2013. - № 4. - С. 56-60.

УДК 004.042, 622.73

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, А.И. Глущенко

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
po-dima@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассматривается процесс создания автоматизированной системы мониторинга уровня заполнения шаровой мельницы. Данная система реализована с применением оборудования и программного обеспечения компании National Instruments и внедрена в реальный технологический процесс измельчения руды на шаровой мельнице ОАО "Стойленский ГОК". Результаты испытаний доказывают целесообразность применения разработанного метода.*

***Ключевые слова:** уровень заполнения шаровой мельницы, спектральный анализ, АСУТП, виброускорение.*

ON DEVELOPMENT AND RESEARCH OF BALL MILL FILL LEVEL CONTROL SYSTEM

Y.I. Eremenko, D.A. Poleshchenko, A.I. Glushchenko

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol

***Abstract.** The development of the automated control system for a ball mill fill level monitoring is considered. Such system is implemented on the basis of National Instruments hardware and software products. It is got accepted into production for a real ball mill at Stoilenskii mineral processing plant. Having made the experiments, the conclusion could be made that proposed system is rational to be used.*

***Keywords:** ball grinding mill fill level, spectrum analysis, technological processes automated control systems, vibration acceleration.*

1. Введение

На сегодняшний день на горно-обогатительных предприятиях при переработке рудного материала в шаровых мельницах операторы испытывают определенные трудности при управлении данными агрегатами. Суть проблемы заключается в том, что оптимальный по удельному расходу энергоресурсов режим работы объекта состоит в максимально возможной загрузке барабана мельницы рудным материалом. В свою очередь, данный режим характеризуется тем, что объект при подаче в мельницу излишнего объема руды может перейти в состояние перегруза, которое сопровождается выносом из мельницы крупной (неизмельченной гали), шаров и приводит к необходимости аварийной остановки объекта. Как следствие, простой мельницы до устранения последствий перегруза ведет к существенным экономическим потерям предприятия. Чтобы избежать подобного негативного явления оператор мельницы вынужден работать в режиме недогруза. Как правило утверждается, что недогруз составляет 5 - 7%. Но, на самом деле, проверить данное обстоятельство не представляется возможным, и оператор чаще перестраховывается, чем пытается обеспечить 5 % недогруза, вследствие чего объем недогруза может составлять 5 - 15%. При большой энергоемкости привода мельницы (3 - 4 МВт) даже лишние 5% выливаются в значительные суммы неэффективно потраченных энергоресурсов. В свою очередь повышение производительности даже на 1% может принести существенную экономическую прибыль предприятию.

Невозможность оптимально управлять мельницей является следствием отсутствия метода измерения, способного точно определять уровень заполнения мельницы, для того чтобы замкнуть контур управления по изменению ее загрузки [1, 2, 3].

Целью данной работы является поиск эффективного метода оценки уровня заполнения мельницы в результате анализа сигнала виброускорения цапфы мельницы.

2. Используемое оборудование и программное обеспечение

В качестве датчиков измерения сигнала виброускорения использовались вибропреобразователи общего назначения AP 2037 с осевой чувствительностью 100 мВ/g, 500 мВ/g и частотным диапазоном 0,5...15000 Гц. Данные датчики были установлены на загрузочной и разгрузочной цапфах мельницы. Причем на разгрузочной цапфе были установлены 2-а датчика с разной чувствительностью (рис.1а). Сигнал с датчиков AP 2037 поступал на 4 - каналный, 24 – разрядный модуль аналогового ввода NI 9234, имеющий четыре BNC коннектора для подключения четырех каналов аналогового ввода с одновременной оцифровкой сигналов (рис.1б). Данный модуль устанавливается в специальное шасси National Instruments cDAQ-9181, подключаемое к

ПК при помощи Ethernet интерфейса. Для обработки сигналов было создано программное обеспечение в среде NI LabVIEW 2013 (рис.2).

3. Описание решения

Анализ снятых сигналов виброускорения показал, что производить оценку степени заполнения барабана только по амплитуде сигнала невозможно. Для получения необходимых результатов и выявления закономерностей был проведен спектральный анализ полученных сигналов[4, 5].

В проведенных экспериментах установлено, что информативная составляющая спектра сигнала виброускорения находится в диапазоне 0-4500 Гц. Поэтому съем сигнала осуществлялся с частотой 10 кГц на канал. Информация непрерывно записывалась в файл формата <name>.lvm.

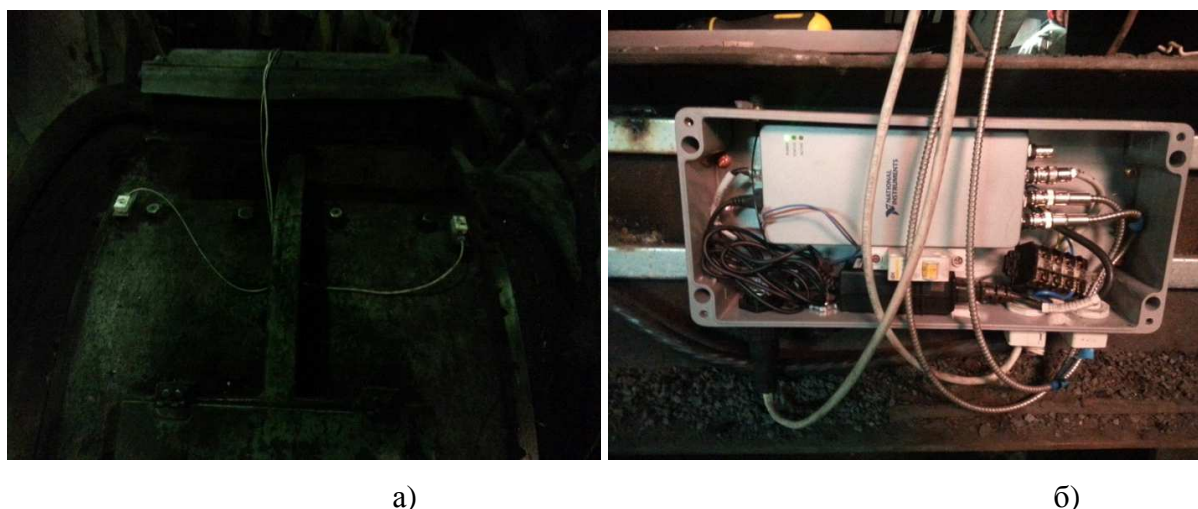


Рис. 1. Установленное на объекте оборудование (слева датчики на разгрузочной цапфе мельницы, справа бокс с оборудованием).

В работе для обработки сигнала был сформирован критерий:

$$I = 100\% \cdot \frac{\int_{F_1}^{F_2} \text{Спектр виброускорения}(f) \cdot df}{\max \left(\int_{F_1}^{F_2} \text{Спектр виброускорения}(f) \cdot df \right)}$$

где f - частота гармонической составляющей сигнала виброускорения цапфы мельницы, A - амплитуда гармоники на частоте f , F_1 - нижняя граница исследуемого частотного диапазона, F_2 - верхняя граница исследуемого частотного диапазона.

В работе исследовались различные частотные диапазоны из спектра сигнала виброускорения. Наилучшее соответствие процессу при расчете автокорреляционной

функции между критерием и сигналами технологического процесса показал диапазон 1960-2200 Гц. Графики оцениваемых параметров приведены на (рис.3).

На графиках видно, что на 200 мин изменяется коэффициент твердое/жидкое, т.е. в мельницу начинает подаваться меньше воды, что приводит к повышению уровня заполнения мельницы. Данное обстоятельство четко прослеживается на графике сформированного критерия и отсутствует на графиках тока спиралей классификатора.

Также, если рассмотреть момент увеличения нагрузки около 400-ой мин, то реакция на него критерия более быстрая - переходный процесс завершается за 5-10 мин, в отличие от переходных процессов тока спиралей классификатора, один из которых не реагирует на изменение нагрузки, а динамика второго составляет 15-20 мин (рис.3).

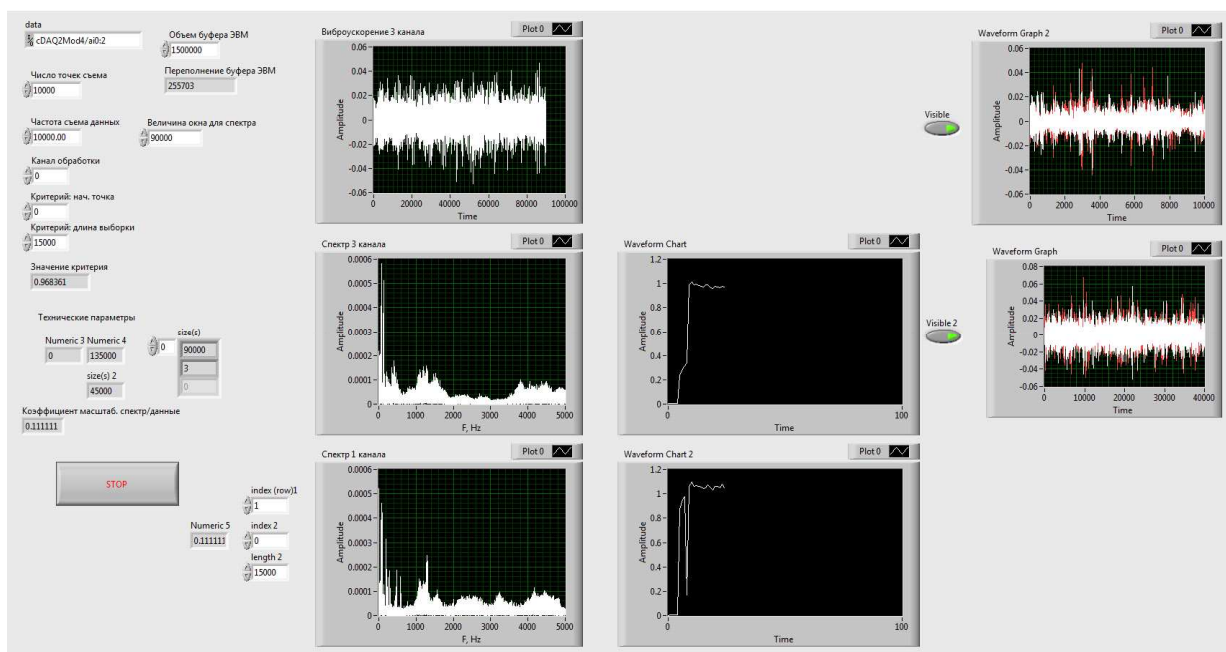


Рис. 2. Интерфейс программы архивирования и обработки сигнала.

Полученные результаты позволяют надеяться на реализацию более чувствительного способа оценки уровня заполнения барабана мельницы и сокращения времени реакции системы контроля при его изменении, что позволит сократить вероятность возникновения перегруза.

4. Внедрение и его перспективы

Разработанная система мониторинга установлена на шаровую мельницу ОАО «Стойленский ГОК» и в настоящее время проходит промышленные испытания. Полученные результаты говорят о перспективности данной методики и в настоящее время планируются исследования функционирования системы в области перегруза мельницы.

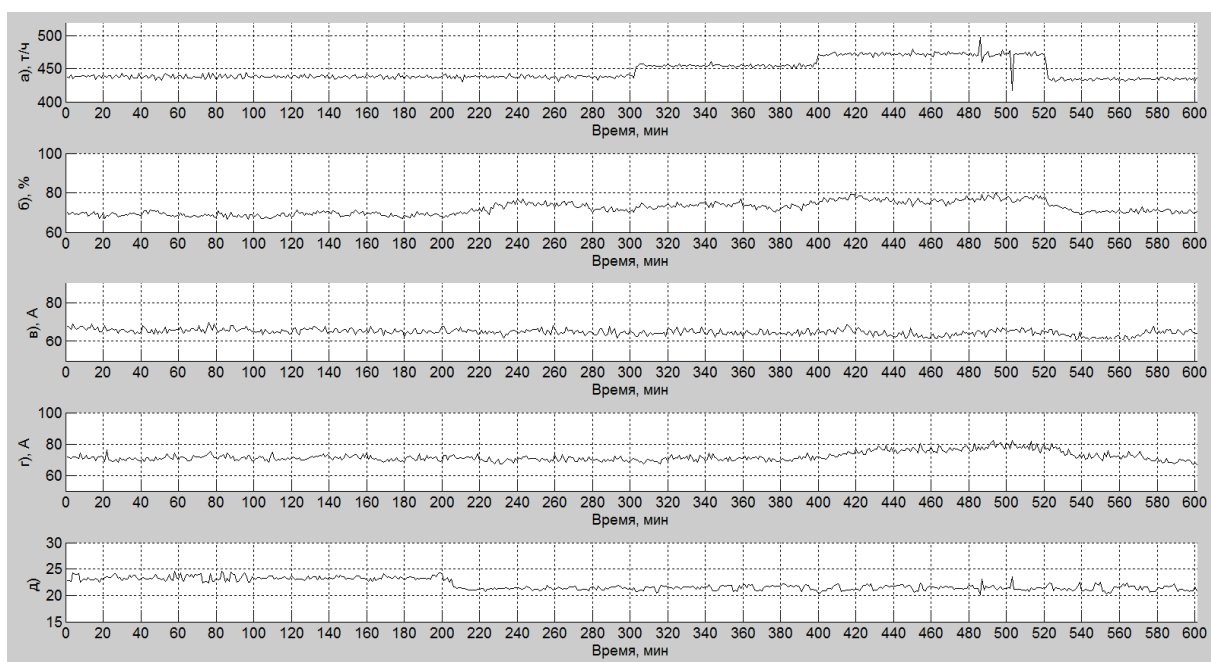


Рис. 3. Тренды системы контроля мельницы (а - расход руды в мельницу, б - критерий J, в - ток 1-ой спирали, г - ток 2-ой спирали, д - коэффициент твердое/жидкое)

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты №12-07-00252-а и 13-08-00532-а.

Список литературы

1. Yu.I. Eremenko, D.A. Poleshchenko, A.I. Glushchenko, et. al., On Estimating the Efficiency of a Neural Optimizer for the Parameters of a PID Controller for Heating Objects Control, Automation and Remote Control. 75(6) (2014) 1137-1144.
2. Yu.I. Eremenko, D.A. Poleshchenko, A.I. Glushchenko, About Heating Plants Control System Developing on Basis of Neural Network Usage for PID-Regulator Parameters Optimization, Applied mechanics and materials. 682 (2014) 80-86.
3. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Литвиненко А.М., Рындин А.А., Подвальный Е.С. Об оценке эффективности применения нейросетевого оптимизатора параметров ПИД-регулятора для управления нагревательными объектами // Системы управления и информационные технологии. - 2013. - Т.53. - № 3.1. - С. 137-141.
4. Пожарский Ю. М., Полещенко Д.А., Подковыров И. Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий // Горный журнал. - 2013. - №2 - с.115-118.
5. Без паники! Цифровая обработка сигналов. / Юкио Сато : пер. с яп. Селиной Т.Г. - М.:Додэка-XXI, 2010. -176 с.: ил. – Доп. тит. л. яп.

УДК 004.89, 669.162

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧАМИ НАГРЕВА ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Фомин А.В.

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
strondutt@mail.ru

***Аннотация.** Уменьшение удельного количества тепла при нагреве непрерывнолитых заготовок в печах нагрева перед прокаткой является актуальной проблемой при автоматизированном управлении температурным режимом металла. Целью работы является анализ существующих решений и разработка предложений по совершенствованию системы адаптивного управления такими печами.*

***Ключевые слова:** печи нагрева, нагрев заготовок, энергосберегающие режимы нагрева, автоматизированная система управления, нейронные сети, ПИД-регулятор.*

THE ANALYSIS OF THE EXISTING POWER EFFECTIVE MANAGEMENT SYSTEMS OF ROLLING MILLS HEATING FURNACES

Eremenko Y.I., Poleshchenko D.A., Glushchenko A.I, Fomin A.V.

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol

***Abstract.** Reduction of specific amount of heat when heating cast preparations in heating furnaces before rolling is an actual problem at automated management of temperature condition of metal. The purpose of work is the analysis of the existing decisions and development of suggestions for improvement of system of adaptive control of such furnaces.*

***Keywords:** heating furnaces, heating of preparations, energy saving modes of heating, automated control system, neural networks, PID-regulator.*

В настоящее время одной из важнейших проблем является экономия топливно-энергетических ресурсов. При этом особое значение энергосбережение имеет для энергоемких отраслей промышленности, к которым относится металлургия и, в частности, прокатное и термическое производства.

Обработка металла в нагревательных печах – неотъемлемый этап в производстве металлопродукции, стоимость которой напрямую зависит от эффективности этого процесса. Нагревательные печи являются одними из основных потребителей энергии при прокате металла. Внедрение энергоэффективных систем позволит получить существенную экономию газа и, как следствие, экономический эффект.

На данный момент существуют следующие методы оптимизации работы печей нагрева:

1) Оптимизация комплектования слябов в садке с учетом требований технологических карт нагрева [1]. Данный метод решает поставленную задачу, используя следующие критерии:

А) Сортировка по среднемассовой температуре заготовки

Б) Сортировка по срочности

В) Сортировка по ширине сляба

Достоинства метода - система позволяет избежать «разрыва» в зонах печи, необходимого при одновременном посаде заготовок разных марок с разными технологическими картами нагрева. Отсутствие разрыва позволит повысить производительность печи.

Недостаток - система функционирует лишь при большом выборе различных марок и заготовок на складе. При отсутствии выбора - система не может быть применена.

2) В рамках работ [2,3] предложена система управления, которая, в отличие от классической системы управления, ведущей регулирование процессом нагрева по температуре в зонах печи измеряемой термопарой, ведет регулирование по температуре заготовки в печи, измеряемой пирометрами.

Достоинства метода:

- высокое быстродействие;

- оперативное управление при нестабильной работе печи.

Недостатки метода:

- значительная ошибка при использовании оптических методов измерения температуры покрытого слоем окалины «серой» поверхности металла;

- отсутствие информации о прогреве заготовки по сечению, ввиду управления не температурой заготовки в целом, а управление температурой поверхности;

- исследования Череповецкого государственного университета показали, что экономия природного газа при опытной плавке составила в среднем 9 – 12%. При прокатке заготовок по опытному режиму отмечен рост нагрузок на приводы в среднем 0,053кА. В связи с этим, прокатку пришлось перевести с 3 ниток на 2 нитки. Пробная прокатка в 3 нитки

показала рост нагрузок на приводы в среднем 0,075 кА (около 7 – 8 %). Данный факт свидетельствует о недостаточном прогреве металла, что приведет к повышенному потреблению тока на клетях, повышенных механических нагрузках и снижению качества проката.

3) Система адаптивного управления воздухом сгорания в соответствии со скоростью изменения температуры в зоне печи [4].

Оптимизирующий алгоритм управления определяет и поддерживает оптимальное текущее значение расхода воздуха в зону, при котором сжигание текущего расхода газа осуществляется с максимально возможным тепловым эффектом, т.е. с максимально возможной скоростью нагрева рабочего пространства печи или максимальной скоростью нагрева поверхности металла (при использовании пирометров).

Для уменьшения негативного влияния инерционности процесса сжигания топлива по каналу «расход воздуха - температурный параметр» авторами предлагается использовать метод поиска оптимального значения расхода воздуха по запоминанию максимума скорости изменения температуры рабочего пространства или поверхности заготовки.

Выбранное поисковое направление изменения расхода воздуха должно быть изменено на противоположное (реверс исполнительного механизма), когда текущее значение скорости изменения температуры уменьшится по сравнению с максимально достигнутым значением в прошедший момент времени.

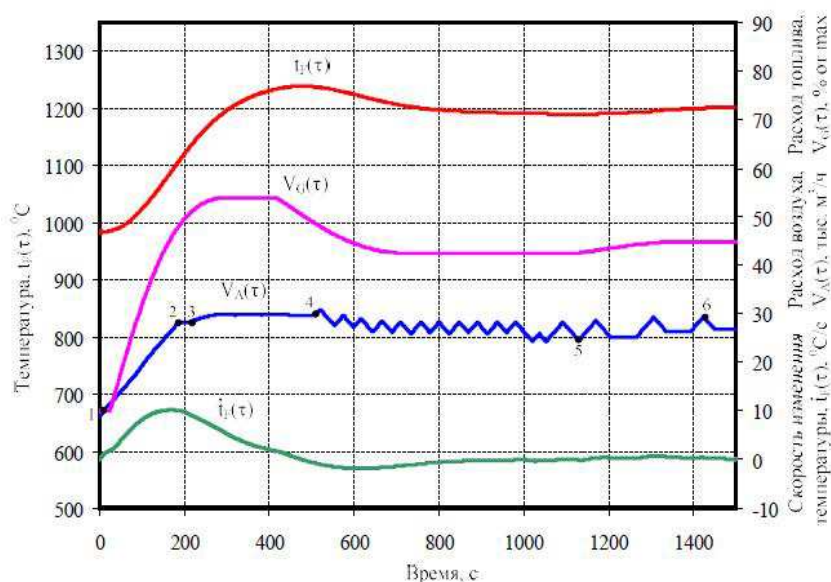


Рис.1 Расчетные траектории во времени при выводе нагревательной печи стана 300 из режима технологического простоя

Достоинства данного метода:

– высокая эффективность во время переходных процессов, за счет учета нелинейности соотношения газ/воздух.

Недостатки метода:

- в стационарном режиме нагрева система продолжит поиск оптимума, следствием чего будет наличие автоколебаний расхода воздуха в стационарном режиме;

- нагрузка на исполнительный механизм в стационарном режиме;

-высокое влияние помех на контур воздуха.

Выводом из проведенного анализа возможных решений задачи повышения энергоэффективности работы печей нагрева является то, что большинство таких методов направлено на совершенствование технологического процесса и условий его проведения. Однако при этом нерассмотренным остается такое направление как построение адаптивных систем управления, корректирующих параметры ПИД-регуляторов в зависимости от текущей ситуации в отдельных зонах печи. Существует достаточно много различных подходов к настройке параметров ПИД-регуляторов, среди которых следует выделить нейросетевой оптимизатор [5-7], позволяющий улучшить качество управления переходными процессами нагрева за счет снижения перерегулирования при выходе на необходимую температуру. Перерегулирование является негативным фактором, так как металл имеет конечное тепловое сопротивление и не в состоянии принять тепла за единицу времени больше фиксированной величины, вследствие чего излишек тепла, вызванный перерегулированием, будет впустую выброшен в атмосферу через трубу дымососа. Поэтому улучшение качества управления приведет к экономии газа.

Входами в оптимизатор являются: задание по температуре, задержанный выход объекта управления и управляющее воздействие с ПИД регулятора. Выходом нейросети являются коэффициенты пропорционального и интегрирующего звена ПИД-регулятора. Для реализации такой схемы управления нет необходимости приобретать дополнительное оборудование. Так же схема управления позволит в любой момент перейти на прямое управление ПИД-регулятора, минуя работу оптимизатора. Пример работы оптимизатора приведен на рис.2.

В результате использования оптимизатора удалось уменьшить перерегулирование в период загрузки печи (между моментами времени 1 и 2) и, соответственно время на выполнения всего графика заданий.

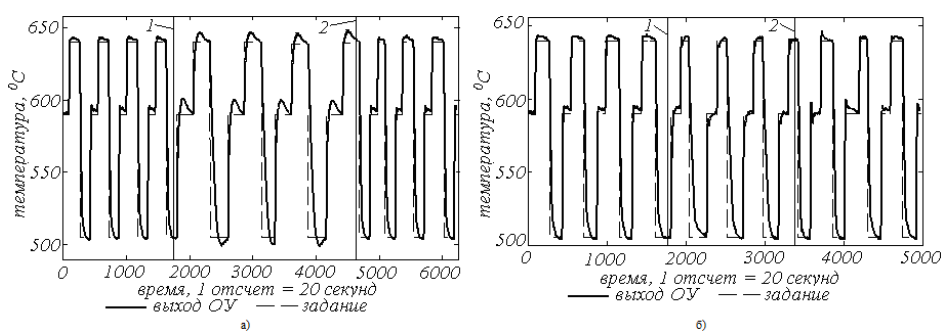


Рис2. Графики переходных процессов (а - ПИД-регулятор, б - нейросетевой оптимизатор)

Использование адаптивной системы управления на основе нейросетевого оптимизатора позволит улучшить качества управления процессом нагрева и избежать перерегулирования, что приведет к экономии газа.

Список литературы

1. Кухтик, М. П. Алгоритм фабрикации слябов, предназначенных для нагрева в методической печи / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев //XVII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 6-9 нояб. 2012 г.) : тез. докл. / ВолГТУ [и др.]. – Волгоград, 2013. – С. 100-101.
2. Парсункин Б.Н. Снижение удельного расхода топлива при управлении тепловым режимом по температуре поверхности металла/ Б.Н. Парсункин, С.М.Андреев, Т.Г.Обухова, Т.У.Ахметов // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №5 С. №302-309.
3. А.В. Кожевников, Г.А. Сорокин, И.Т. Барташевич, И.В. Сидорова Моделирование и экспериментальные исследования энергоэффективных режимов производства сортового проката // Вестник Череповецкого государственного университета 2011.№4. С. №14-18.
4. Б.Н. Парсункин, С.М.Андреев, Т.У.Ахметов Разработка и исследование работы системы энергосберегающего управления нагревом заготовок в методических печах листопрокатных станов // Вестник МГТУ им.Г.И.Носова 2014. №1. С. №122-127.
5. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Литвиненко А.М., Рындин А.А., Подвальный Е.С. Об оценке эффективности применения нейросетевого оптимизатора параметров ПИД-регулятора для управления нагревательными объектами [Текст] // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – Т. 53. – № 3.1. – С. 137-141.
6. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Об особенностях практической реализации схемы ПИД-нейрорегулятора с самонастройкой для управления печами нагрева // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. – № 1. – С. 25-30.
7. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Синтез системы управления чашевым окомкователем с нейросетевой надстройкой и оценка ее эффективности относительно

шаговой системы экстремального управления // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 10. – С. 56-61.

УДК 004.032.26 + 519.876.2

О ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ И ПРОЦЕССАМИ

Ю.И. Еременко, С.Ю. Халапян, Д.Ю. Ярмуратий

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО

"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол

jiopg2007@yandex.ru

Аннотация. В работе приводится исследование возможности сохранения опыта оператора для эффективного нейросетевого управления нелинейным объектом. Представлены результаты эксперимента, в ходе которого искусственная нейронная сеть была обучена на ретроспективной информации, отражающей поведение оператора, управляющего муфельной электронагревательной печью, а затем осуществляла непосредственное управление этим объектом.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронная сеть, поведенческая модель оператора, нейросетевое моделирование, нелинейный объект, нагревательная печь.

ABOUT THE POSSIBILITY OF NEURAL CONTROL OF NONLINEAR TECHNOLOGICAL OBJECTS AND PROCESSES

Y.I. Eremenko, S.Y. Khalapyan, D.Y. Yarmurati

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and

Technology "MISiS", Stary Oskol

jiopg2007@yandex.ru

Abstract. The article presents a study of the possibility of preserving the experience of the operator for efficient neural control of nonlinear object. The paper also presents the results of an experiment in which artificial neural network was trained on historical data reflecting the behavior of the operator, that controls an electric furnace, and then exercised direct control of this object.

Keywords: Artificial intelligence, neural network, behavioral operator's model, neural modeling, nonlinear object, heating furnace.

Современная промышленность характеризуется наличием весьма широкого класса энергоемких технологических агрегатов, которые являются, к тому же, нелинейными и нестационарными объектами управления. Эффективное управление такими объектами в последнее время становится все более сложной задачей. Объясняется это, в первую очередь ужесточением технологического регламента производства, требований к качеству выходного продукта, производительности технологических агрегатов и объему затрачиваемых энергоресурсов.

Для управления описанными выше агрегатами широко применяются типовые законы регулирования. Однако, ввиду нелинейности и нестационарности рассматриваемых технологических объектов, управление с помощью классических линейных регуляторов зачастую не является оптимальным. В связи с этим оперативный персонал вынужден в ряде случаев переводить объект в режим ручного управления и добиваться, таким образом, большей эффективности его функционирования.

Проблема заключается в том, что оператор в большинстве случаев не способен длительное время поддерживать качество управления объектом на высоком уровне. Кроме того, не исключаются разнообразные ошибки операторского управления, которые принято объединять термином «человеческий фактор». Поэтому полностью передать человеку задачи нижнего уровня управления, традиционно решаемые с помощью классических регуляторов, безусловно, нецелесообразно. Однако, результаты проведенных ранее исследований [1, 2], посвященных проблеме нейросетевого моделирования поведения оператора, позволяют предложить метод интеллектуального управления нелинейными и нестационарными объектами, основанный на воспроизведении эффективного операторского управления такими объектами на основе искусственных нейронных сетей.

Для проверки возможности интеллектуального управления технологическим агрегатом на основе опыта оператора, для формирования обучающих выборок нейронной сети была выбрана лабораторная муфельная электронагревательная печь как наиболее простой и доступный объект исследований. Печь оборудована автотрансформатором, позволяющим имитировать внешние возмущения путем изменения мощности нагревательного элемента.

Эксперимент был поставлен следующим образом: первоначально установленный план-график заданий был отработан ПИ-регулятором (рис. 1), а затем (после некоторой тренировки) человеком-оператором печи.

На основе полученных результатов была сформирована ретроспективная выборка действий оператора, которая и использовалась для обучения ИНС. Исследования показали, что наилучшим образом ретроспективная информация обобщается прямой

трехслойной ИНС [3], на выходе которой формируется управляющее воздействие в виде процента необходимой действующей интенсивности нагрева. Нейронная сеть была смоделирована в пакете MatLAB.

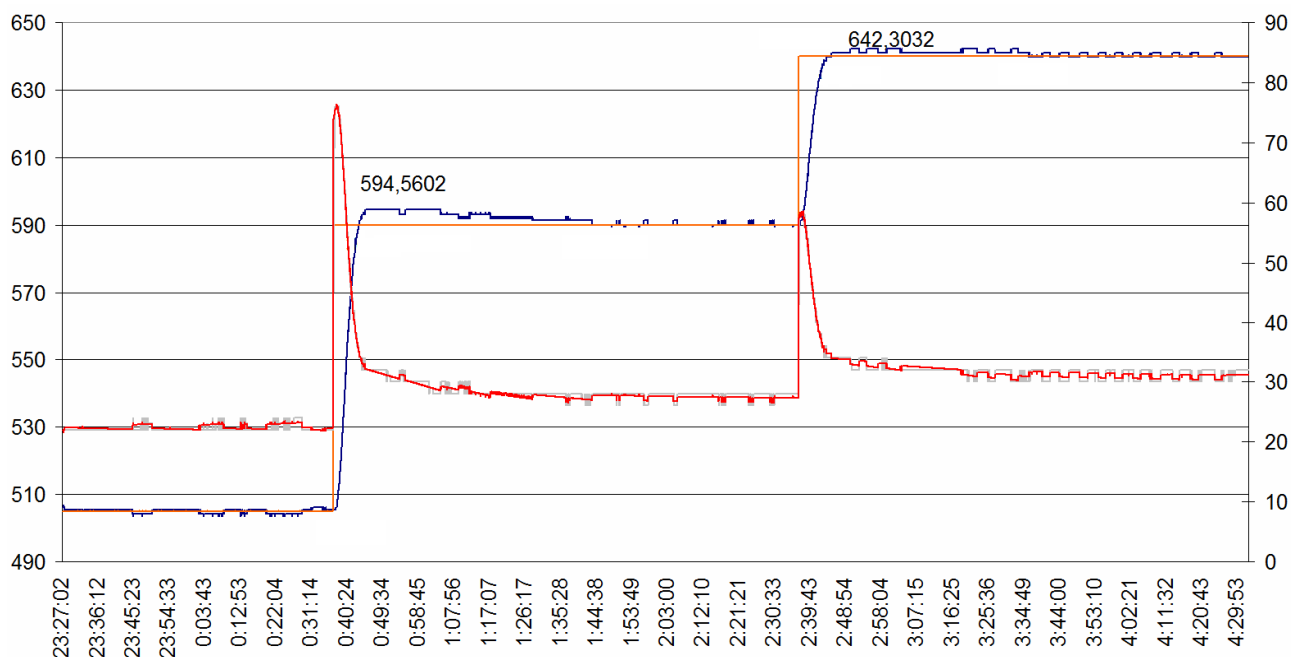


Рис. 1. Результаты отработки заданий 505-590-640°C классическим ПИ-регулятором (задание, фактическая температура и управляющее воздействие)

После обучения нейронная сеть была подключена к муфельной печи для непосредственного управления объектом. В результате были получены графики работы печи под управлением ИНС (рис.2).

Из графиков (рис. 1, 2) видно, что ИНС, обученная на ретроспективной информации о действиях оператора, управляет печью в целом не хуже, чем это делает регулятор:

- ИНС, как и регулятор, обрабатывает полученные задания на требуемом уровне качества ($\pm 4\%$ от задания);
- нейронная сеть затрачивает на переходные процессы примерно в два раза меньше времени, чем ПИ-регулятор.

Важнейшими недостатками работы полученной нейросетевой поведенческой модели являются возникающие в процессе управления автоколебания, которые (в меньшей степени) допускал и оператор, и статическая ошибка, которой у оператора не было. Можно предположить, что в первую очередь наличие данных проблем объясняется недостаточным качеством и объемом обучающей выборки. Решить эти проблемы, а также устранить возникающие в процессе работы перерегулирования можно путем совершенствования

управляющих способностей оператора, а также сбором более адекватной и полноценной выборки, отражающей его поведение в ходе управления объектом.

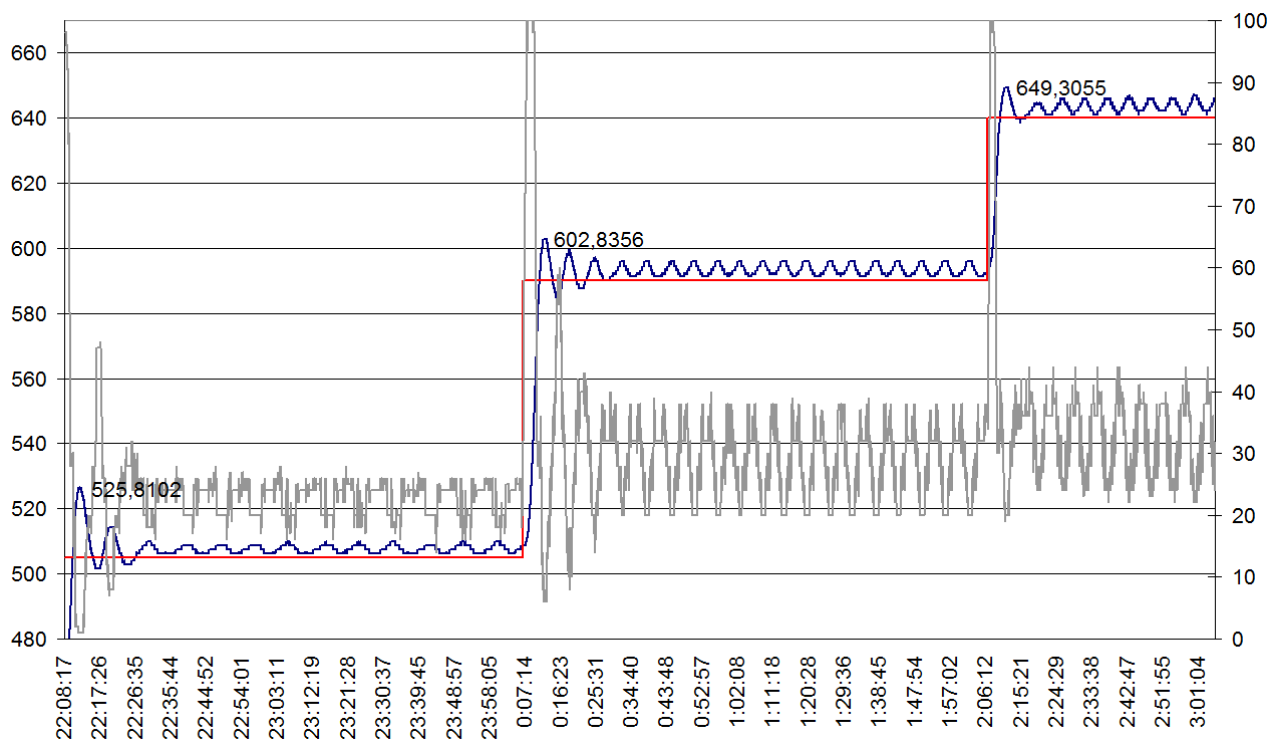


Рис.2. Результаты обработки заданий 505-590-640°C нейросетевой поведенческой моделью (задание, фактическая температура и управляющее воздействие)

В дальнейшей исследовательской работе предполагается проведение эксперимента с фиксацией данных об объеме затрачиваемой электроэнергии в случае управления ПИ-регулятором, оператором и ИНС, для оценки качества интеллектуального управления с точки зрения энергоэффективности работы объекта.

Список литературы

1. Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю. Проблемы сохранения опытных знаний человека-оператора верхнего уровня АСУ ТП // Образование, наука, производство и управление. 2011. Т. I. № I. С. 248.
2. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю. Разработка модели шахтной печи металлизации на основе технологии нейронных сетей // Мехатроника, автоматизация, управление, №4, 2013. – С. 56-60.
3. Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю., Невзоров А.А. О проблемах решения задачи автоматизированного управления шахтной печью на основе создания тренажера

оператора // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, №3(305), 2014. – С. 38-44.

4. Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю., Невзоров А.А. Исследование возможности нейросетевого моделирования поведения оператора АСУ ТП, управляющего тепловыми агрегатами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика (ISSN 2073-0004), №2, 2014. – С. 20-25.

УДК 004.9 + 517.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СЛОЕ РАФИНИРОВОЧНОГО ШЛАКА В АГРЕГАТАХ ПЕЧЬ-КОВШ

Зацепин Е.П., Галкин А.В.

Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

ezats@mail.ru, avgalkin82@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос моделирования распределения электромагнитного поля в слое рафинировочного шлака для уточнения рационального электрического режима работы агрегатов «печь-ковш».

Ключевые слова: электрический режим, моделирование, дифференциальное уравнение, разностные схемы, электродуговая печь переменного тока.

MODELING OF DISTRIBUTION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE SLAG'S LAYER IN THE ELECTRIC ARC FURNACE

Zatsepin E.P., Galkin A.V.

Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk

Abstract. The paper discusses the modeling of electromagnetic field distribution in the conductor layer of slag to clarify the rational electric mode of the electric arc furnace

Keywords: electric mode, modeling, differential equation, finite difference schemes, AC electric arc furnace

Регулирование электрического режима дуговой сталеплавильной печи (ДСП) ведется по напряжению и току дуги. Наиболее рациональным режимом работы для этих агрегатов является режим максимальной интенсивности нагрева металла. Для агрегатов печь-ковш (АПК) регулирование режима по току дуги сопряжено с трудностями, т.к. часто эти агрегаты работают с дугой, экранированной шлаком. В этом случае, при перекрытии электродов

проводящим шлаком в последнем протекают токи, шунтирующие электрические дуги. При этом для определения рациональных значений токов дуг, соответствующих максимальной интенсивности нагрева металла и не опасных для футеровки необходимо учитывать токи в слое рафинировочного шлака. Для эффективного функционирования АПК на первом этапе при формировании рафинировочного шлака определенного для группы сталей состава обеспечивается заданная толщина слоя шлака на зеркале металла, которая соответствует установленной длине дуги. Это позволяет достичь оптимальной скорости нагрева металла. Слой рафинировочного шлака должен быть на 20 -30 % больше длины дуги, чтобы обеспечить эффективное экранирование открытой дуги шлаком. В случае, когда толщина шлака превысит этот показатель в 2,5 - 3 раза из-за высокой электропроводности шлака дуги могут быть полностью шунтированы, что резко ухудшает нагрев металла и вызывает нежелательное разложение фторида кальция с образованием карбида кальция. При толщине слоя шлака меньше длины дуги растут потери подаваемой мощности, перегревается крышка ковша-печи. В случае работы с дугой, длина которой на 10 мм не закрыта шлаком, потери составляют 2 ~ 3 % подводимой мощности. Поскольку температура столба дуги составляет 4500 - 6000 °С, а передача тепла излучением пропорциональна четвертой степени от температуры. Практика показывает, что для эффективной работы агрегата ковш-печь средней мощности (100 - 150-т ковш) длина дуги составляет 60 - 90 мм, в этом случае при оптимальной толщине слоя шлака дуги замыкаются через металл, обеспечивая оптимальный нагрев (рис .1).

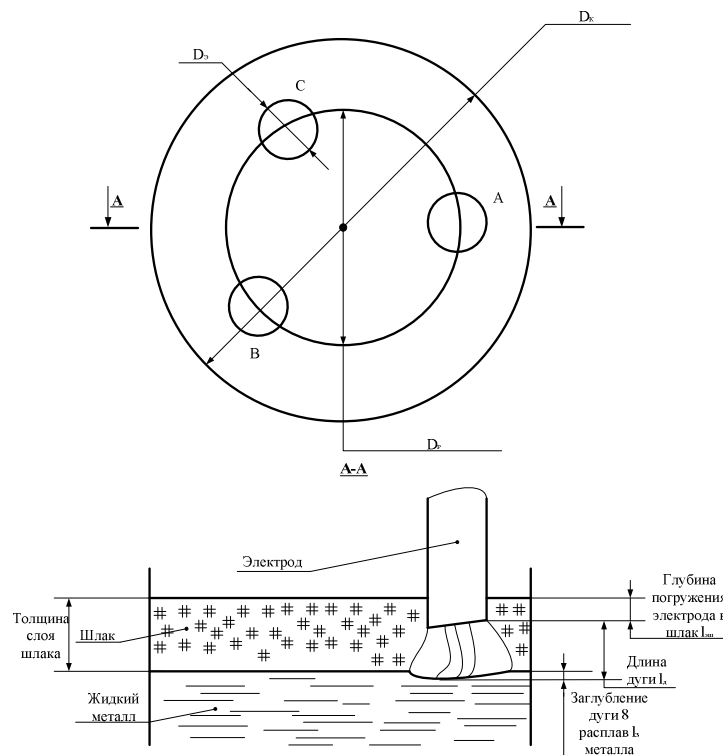


Рис.1. Схема горения дуги в АПК при экранировании ее шлаком

Однако при расчете оптимального электрического режима необходимо учитывать шунтирование шлаком дуг, что можно получить при анализе распределения тока в слое шлака. Для определения сопротивления слоя рафинировочного шлака необходимо последний рассматривать как массивный проводник. В соответствии с основами теории электромагнитного поля при исследовании распределения токов в проводящей среде можно пренебречь токами смещения в силу их малости в сравнении с токами проводимости, т.е.

приняв $\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = 0$. В этом случае уравнения Максвелла принимают вид

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \mathbf{J} = \gamma \cdot \mathbf{E}; \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\mu_a \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \end{aligned} \quad (1)$$

где \mathbf{H} – вектор напряженности магнитного поля; \mathbf{E} вектор напряженности электрического поля; γ – удельная электрическая проводимость среды; μ_a – магнитная проницаемость среды [1].

Если рассматривать плоскую электромагнитную волну, распространяющуюся в декартовой системе координат вдоль оси Oz , направив при этом вектор \mathbf{E} по оси Ox , а вектор \mathbf{H} по оси Oy с учетом того, что напряженности электрического и магнитного полей будет изменяться по синусоидальным законам с угловой частотой ω $E_x = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$; $H_y = H_m \sin(\omega t + \varphi_h)$, то первое и второе уравнения Максвелла могут быть записаны в комплексной (символической) форме записи

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \dot{\mathbf{H}} &= \gamma \cdot \dot{\mathbf{E}}; \\ \operatorname{rot} \dot{\mathbf{E}} &= -j\omega\mu_a \dot{\mathbf{H}}, \end{aligned} \quad (2)$$

Для совместного решения уравнений (2) возьмем ротор от первого уравнения в системе (2) с учетом того, что $\operatorname{div} \dot{\mathbf{E}} = 0$ и $\operatorname{div} \dot{\mathbf{H}} = 0$ получим

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \dot{\mathbf{H}} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \dot{\mathbf{H}} - \nabla^2 \dot{\mathbf{H}} = \gamma \cdot \operatorname{rot} \dot{\mathbf{E}}.$$

Подставив вместо $\operatorname{rot} \dot{\mathbf{E}} - j\omega\mu_a \dot{\mathbf{H}}$ получим

$$\nabla^2 \dot{\mathbf{H}} - j\omega\mu_a \dot{\mathbf{H}} = 0. \quad (3)$$

Аналогичную запись можно получить для напряженности электрического поля.

$$\nabla^2 \dot{\mathbf{E}} - j\omega\mu_a \dot{\mathbf{E}} = 0. \quad (4)$$

Распределение тока в массивном проводнике будет подчиняться закону Ома в интегрально-дифференциальной форме $\mathbf{J} = \gamma \cdot \mathbf{E}$. Поскольку питание агрегата печь-ковш осуществляется трехфазным переменным напряжением, а система электродов строго симметрична, то при решении уравнения (4) в качестве граничных условий можно перейти

от напряженности электрического поля к напряжению в расчетных точках рассматриваемого массивного проводника.

Для численного решения поставленной задачи необходимо знать удельную электрическую проводимость слоя шлака и его магнитную проницаемость. Если с магнитной проницаемостью шлака проблем не возникает, так как шлак не является ферромагнитным веществом, то с достаточной для инженерных расчетов точностью магнитную проницаемость шлака можно принять равной магнитной проницаемости вакуума, которая равна единице. Поскольку отличие магнитной проницаемости для диамагнитных и парамагнитных веществ от магнитной проницаемости вакуума составляет величину порядка $\pm 0,001$ %. Электропроводность слоя шлака определяется его химическим составом и температурой. На установке печь-ковш рафинирование производится двумя видами шлаков: известково-глиноземистым и известково-силикатным, химический состав которых приведен в таблице.

Таблица. Химический состав применяемых шлаков

Компонент	Тип шлака	
	Известково-глиноземистый	Известково-силикатный
	Массовая доля компонента в шлаке, %	
CaO	55-65	55-65
Al ₂ O ₃	20-30	8-10
SiO ₂	8-10	20-30
MgO	5-8	5-8
MnO +FeO	н. б. 1	н. б. 1
CaF ₂	–	6-8

Увеличение основности шлака, которое соответствует увеличению концентрации основных оксидов (CaO, FeO, MgO) по сравнению с концентрацией кислотных оксидов (SiO₂) снижает сопротивление шлака и уменьшается градиент напряжения столба дуги [2]. В результате чего увеличивается длина дуги и тепловая нагрузка на стенки ковша и свод АПК. В [3] изотермы удельной электропроводности известково-силикатных расплавов в зависимости от процентного содержания негашеной извести в расплаве. При пересчете этих изотерм в зависимости удельного сопротивления от основности шлака получено семейство кривых, которые были аппроксимированы зависимостями. Ошибка интерполирования составила величину менее 4 %. В результате была получена зависимость удельного сопротивления металлургических шлаков от их основности и температуры расплава, представленная на рис. 3

Для решения уравнения (4), представляющего собой эллиптическое уравнение, была построена разностная схема, которая включает в себя дискретизацию исходного дифференциального уравнения (5)

$$\frac{U_{i+1,j,k} - 2U_{i,j,k} + U_{i-1,j,k}}{h_1^2} + \frac{U_{i,j+1,k} - 2U_{i,j,k} + U_{i,j-1,k}}{h_2^2} + \frac{U_{i,j,k+1} - 2U_{i,j,k} + U_{i,j,k-1}}{h_1^2} - j\omega\gamma\mu_a U_{i,j,k} = 0. \quad (5)$$

В качестве граничных условий задаются функции напряжений на электродах

$$U_A(t) = U_{Am} \sin(\omega t + j_A),$$

$$U_B(t) = U_{Bm} \sin(\omega t + \varphi_B),$$

$$U_C(t) = U_{Cm} \sin(\omega t + j_C).$$

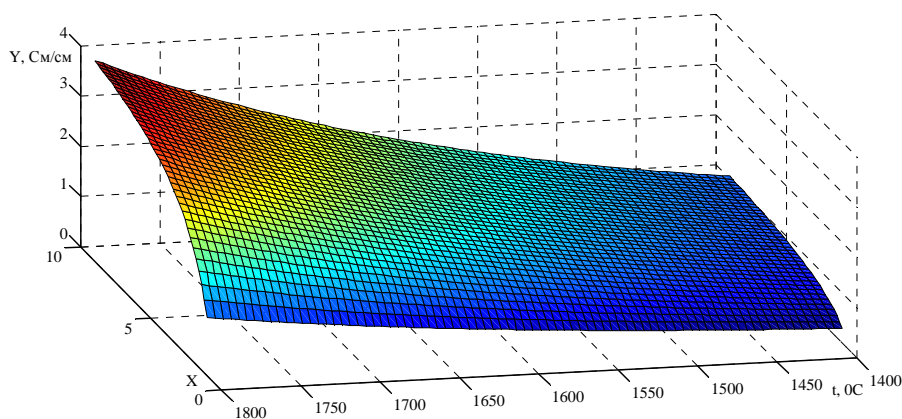


Рис. 2. Зависимость удельной проводимости шлака от его основности и температуры расплава

Получаемая из (5) система линейных уравнений в связи с большой размерностью (исходная область была разбита на 15376 точек) решалась итерационным методом по формуле (6)

$$U_{i,j,k}^{(n+1)} = \left(\frac{U_{i+1,j,k}^{(n)} + U_{i-1,j,k}^{(n)} + U_{i,j+1,k}^{(n)} + U_{i,j-1,k}^{(n)}}{2(2h_1^2 + h^2)} h_1^2 + \frac{U_{i,j,k+1}^{(n)} + U_{i,j,k-1}^{(n)}}{2(2h_1^2 + h^2)} h^2 \right) / \left(1 - j\omega\gamma\mu \frac{h^2 h_1^2}{2(2h_1^2 + h^2)} \right).$$

Шаг по осям Ox и Oy составил $h = 0.1$ м., по оси Oz $h_1 = 0.01$ м. Полученные решения для времени $0,04$ с представлены на рисунке 3.

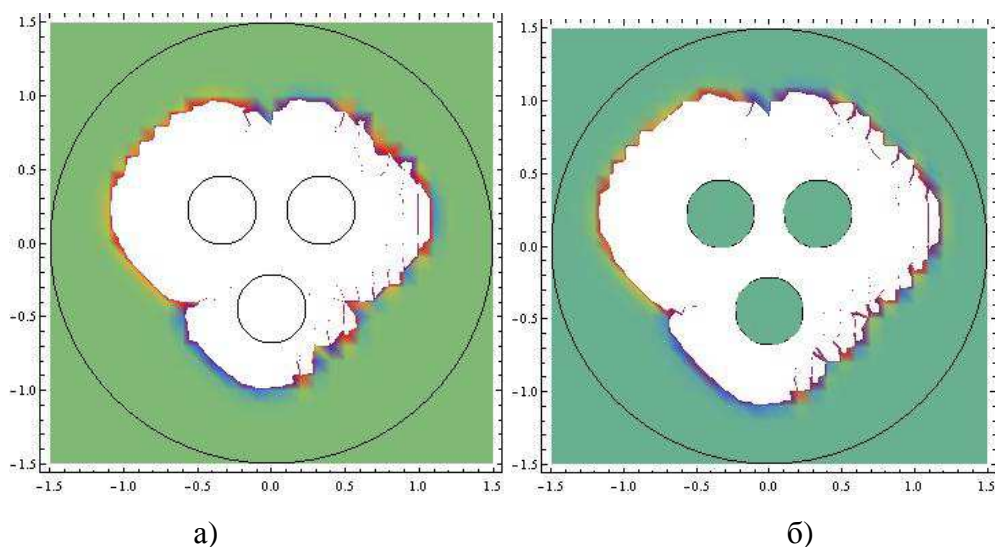


Рис. 3. Распределение значений напряжений на различных высотах от зеркала металла (а - 10 см, б - 6 см)

Список литературы

1. Бессонов, Л. А., Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. Учебник. – 10-е изд. / Л.А. Бессонов. М.: Гардарики, 2003. -317 с.
2. Дюкин, Д.А., Производство стали на агрегате печь-ковш / Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг, С.Н. Маринцев. Донецк: ООО «Юго-Восток Лтд», 2003. 300 с.
3. Микулинский, А.С. Процессы рудной электротермии./ А.С. Микулинский. М.: Металлургия, 1966. 280 с.
4. Петров Г.А., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов/ Г.А. Петров, А.С. Тумарев. М.: Высшая школа, 1977. 392 с.

УДК 004.89, 669.162

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕГИСТРАЦИИ ПРОБ И РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ФЕРРОСПЛАВОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Н.И. Ковтун

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
kovtun-n-i@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы формирования внутреннего информационного поля на предприятии, обеспечение входного контроля и приёмки партий ферросплавов от

поставщиков, автоматизации проведения регистрации пробы лаборантом хим.анализа и результатов её анализа.

Ключевые слова: информационное поле; ферросплав; электронный документооборот; автоматизированная информационная система.

DEVELOPMENT OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEM CONTROL SAMPLES REGISTRATION PROCESS AND ANALYSIS OF FERROALLOYS BY METALLURGICAL ENTERPRISES

N. I. Kovtun

Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Sary Oskol
kovtun-n-i@yandex.ru

Abstract. *The questions of the internal information field in the enterprise, providing input control and acceptance of batches of ferroalloys from suppliers of automation of a laboratory sample him.analiza registration and re-analysis of its results.*

Keywords: *information field; ferroalloy, electronic document; automated information system.*

Бизнес-процесс движения ферросплавов на металлургическом предприятии представляет собой набор последовательных действий, состоящих из следующих операций:

- входной контроль и приёмка партий ферросплавов от поставщиков на границе территории предприятия;
- транспортировка ферросплавов на склады подготовки производства;
- управление технологическими процессами на складе подготовки производства: приёмка, хранение, доработка, расфасовка, комплектация отгрузочных партий, отгрузка на склады временного хранения сталеплавильных цехов;
- транспортировка ферросплавов на склады временного хранения сталеплавильных цехов;
- управление технологическими процессами на складах временного хранения сталеплавильных цехов: приёмка, хранение, передача в производство;
- расход ферросплавов в ходе технологических процессов выплавки и доводки стали.

Данный процесс обеспечивается внутренним и внешним информационным полем. Информационное поле объединяет следующую информацию: первичные документы, которые фиксируют хозяйственные операции и содержат информацию о состоянии

материального потока, данные документооборота (бумажного и электронного), включая данные обязательной отчетности за текущий и прошлые периоды и пр. Например, приход ферросплавов на предприятие сопровождается обменом документами между предприятием и поставщиком: договорами, счетами, счет-фактурами, накладными, доверенностями, актами и т.д.

Внутреннее информационное поле формируется за счет собственных источников информации, которые можно проверить на полноту и достоверность. Качество внутреннего информационного поля предприятия зависит от четкости организационной структуры управления, рациональности распределения функциональных обязанностей, надежности учета, достаточной эффективности схемы документооборота [1].

Учитывая, что за входной контроль партий ферросплавов на предприятии отвечает лаборант хим. лаборатории, актуальной задачей является разработка автоматизированной информационной системы для управления процессом регистрации проб и результатов.

Решение данной задачи предусматривает создание единой БД, содержащей информацию о поставщиках, ферросплавах, гостах, что позволит оперативно получать необходимые сведения о проведенных анализах, своевременно выявлять несоответствия количества и качества поступающих от поставщиков ферросплавов, формировать информационную базу данных для обоснованного нормирования количества и типов ферросплавов, применяемых на предприятии, выявлять и устранять несоответствия и отклонения от нормативов фактической отдачи ферросплавов, основанных на фактической информации и технических средствах контроля.

Опишем процесс «Как есть», с применением бумажного документооборота для регистрации полученной пробы лаборантом хим.анализа и результатов её анализа с помощью диаграмм IDEF0: лаборантам хим.анализа приносят пробы ферросплавов со склада, как только их приобретают. Лаборант сразу же должен зарегистрировать пробу в журнале, после чего провести анализ и занести результаты в тот же журнал. Анализ проводится с целью подтверждения соответствия заявленной марке. После проведения анализа, результаты передаются в цех (рис. 1).

Отсутствие автоматизированной информационной системы для управления процессом регистрации проб и результатов увеличивает временные затраты на поиск нужного документа, а так же может привести к потере, порче, уничтожению информации.

Исправление недостатков, перенаправление информационных и материальных потоков приводит к созданию модели «Как будет» – модели идеальной организации бизнес-процессов, на основе которой в перспективе – построение модели данных, прототипа и затем окончательного варианта ИС (рис 2.).

Рассмотрим даталогическую модель данных разрабатываемой системы (рис. 3). Система должна включать следующий набор сущностей: в скобках указаны атрибуты сущностей, подчеркнуты ключевые атрибуты):

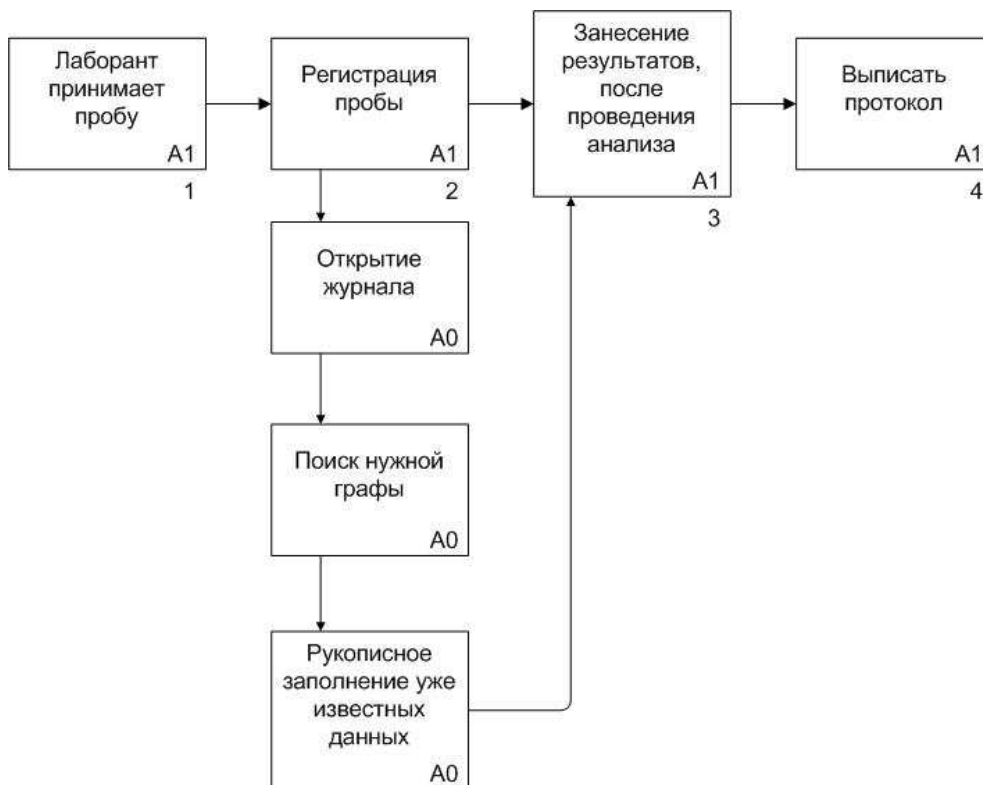


Рис.1. Процесс «Как есть» регистрации полученной пробы лаборантом хим.анализа



Рис.2. Процесс «Как будет» регистрации полученной пробы лаборантом хим.анализа

- Поставщик (Код поставщика, Имя поставщика).
- Ферросплав (Код ферросплава, Наименование ферросплава, Код ГОСТ).
- Отчет (Код отчета, Дата, Код ферросплава, Код поставщика, Результат анализа, Соответствие ГОСТ, Код пользователя).

- Пользователи (Код пользователя, Имя пользователя, Пароль, Полное имя, Код привилегии).
- Привилегии (Код привилегии, Наименование привилегии).
- ГОСТ (Код ГОСТ, Наименование ГОСТ).

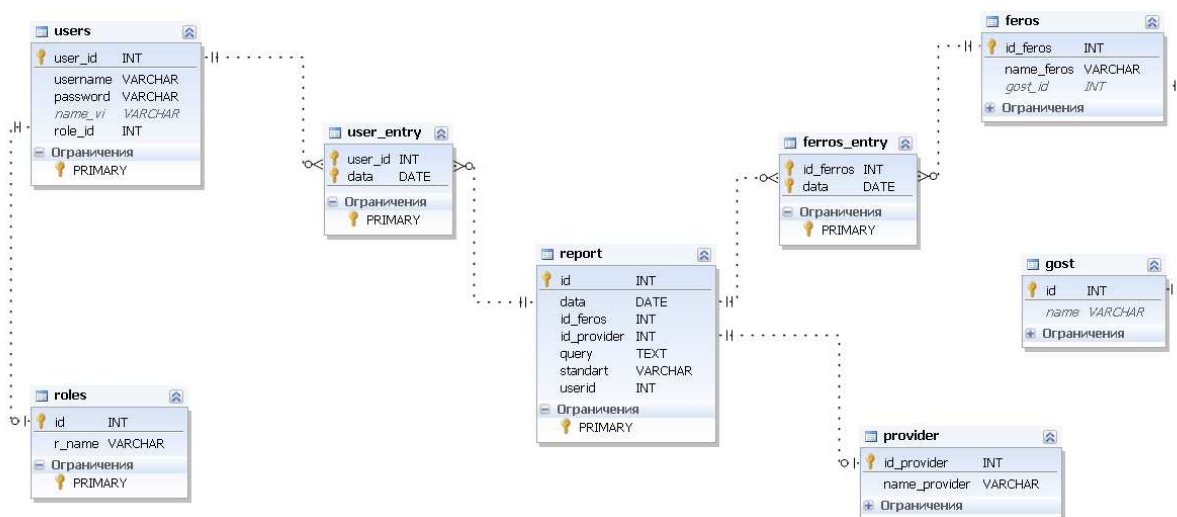


Рис. 3. Дatalogическая модель данных системы управления отчетами о результатах анализа ферросплавов

Разрабатываемая система должна обеспечить оформление протокола, который осуществляет функцию освидетельствования проведения анализа, реализовывать ввод информации, добавление записей, должна соответствовать установленному ГОСТу и фиксировать требования заказчика. Так же информация, хранящаяся в системе должна быть доступна для всех служб дальнейшего сопровождения движения ферросплавов на предприятии.

Формирование и поддержание в хорошем состоянии информационного поля предприятия весьма непростая задача, которая может быть решена только при условии нормального функционирования информационных потоков предприятия с использованием современных автоматизированных информационных систем управления.

Список литературы

1. Максимов А.А. Информационно-управленческая модель и автоматизированная система предприятия// Информационные ресурсы России. — 2013. — №6.

УДК 519.688

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Козырь О.Ф.

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) Национального
исследовательского технологического университета "МИСиС", Старый Оскол, Россия

kozyr_o@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения автономных сценариев для управления информационными ресурсами горно-металлургических предприятий, а также способы организации их совместного функционирования.

Ключевые слова: автономные сценарии, управление распределенными информационными ресурсами, рефлексивные автономные сценарии, адаптивные автономные сценарии, схемы организации сценариев в распределенных системах.

**STANDALONE SCRIPTS USAGE FOR INFORMATION RESOURCES MANAGEMENT
OF MINING AND METALLURGICAL PLANTS**

Kozyr' O.F.

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science
And Technology "MISiS", Stary Oskol, Russia

kozyr_o@mail.ru

Abstract. The article discussed the application of Autonomous scripts for control of information resources mining and metallurgical enterprises, as well as ways of organizing their joint functioning.

Keywords: Autonomous scripts, control of distributed information resources, reflective Autonomous scripts, adaptive Autonomous scenario, the organization of scripts in distributed systems.

Введение

Для автоматизированного управления информационными ресурсами на горно-металлургических предприятиях в основном используются готовые комплексные программные решения. Тем не менее, в таких корпоративных информационных системах

находится немало задач информационной поддержки, которые пользователям и администраторам приходится выполнять вручную.

Доступным и эффективным инструментом управления всем многообразием распределенных информационных ресурсов могут являться автономные сценарии. Поэтому представляется разумным предложить ряд обобщенных рекомендаций и универсальных правил их применения на предприятиях горно-металлургического комплекса.

1 Автономные сценарии для управления информационными ресурсами

Как правило, пользователь при работе с информационной системой имеет некоторый план последовательных или параллельных действий, например, сначала скопировать выделенные файлы в папку, затем запустить антивирусную программу, потом открыть из оболочки СУБД файл базы данных и выполнить SQL-запрос. В зависимости от происходящих в системе событий и результатов выполнения пользователем предыдущих действий алгоритмы выполняемых заданий могут изменяться. Например, перед копированием файлов понадобится высвободить необходимое место на диске. Задания могут состоять из одного или нескольких действий. Действие может представлять собой активизацию программы, команду, SQL-оператор, сообщение, и т.п. Задание может также предусматривать общение пользователя с системой для получения особых инструкций и принятия решений.

Для рассматриваемого класса задач, где пользователь является «активным элементом» инициализации их выполнения, а форматы данных на промежуточных этапах согласования совпадают или последовательность их решения строго определена, может быть сформулирована и решена задача автономного управления задачей (поток задач) на основе технологии автономных сценариев [1,2].

Автономный сценарий можно рассматривать как некий генератор команд, который в соответствии с реакцией среды определяет план действий, активирует соответствующие приложения или предоставляет пользователю средства управления процессом принятия решений.

Сценарии целесообразно использовать для решения задач интеграции гетерогенных информационных структур и распределенных баз данных, управления потоками взаимосвязанных задач пользователя, защиты и автономного аудита информационных ресурсов распределенной вычислительной системы, мониторинга и управления сетевыми ресурсами распределенных вычислительных систем и др.

Можно выделить два типа автономных сценариев – рефлексивные сценарии и адаптивные сценарии, которые обеспечат решение большинства задач управления информационными ресурсами.

При возникновении некоторого события для выполнения одного или определенной последовательности действий может быть использован рефлексивный автономный сценарий. В динамических средах сценарии должны обеспечивать достижение поставленных целей с учетом происходящих в системе изменений. В этом случае полезен адаптивный автономный сценарий [2], реализующий более сложные алгоритмы и выполняющий автоматический переход к другому варианту действий на смену текущему. Выбор нового варианта действий может осуществляться как с помощью известных детерминированных, так и стохастических адаптивных стратегий [3].

2 Взаимодействие сценариев в распределенных системах

В больших распределенных гетерогенных системах, каковыми в основном являются корпоративные информационные системы горно-металлургических предприятий, целесообразно наличие в каждом географическом пункте отдельного, так называемого корневого иерархического сценария, управляющего и координирующего действия других иерархических сценариев и приложений в «своей» части системы (рисунок 1). Наличие нескольких сценариев одного уровня позволяет распределить между ними либо функции, либо сферы управления, обеспечивая лучшую масштабируемость и адаптивность системы.

Суть иерархического автономного сценария состоит в формировании такой последовательности рефлексивных и адаптивных сценариев, которая обеспечит оптимальное достижение той или иной цели или комбинации целей отдельных пользователей. Это возможно лишь в том случае, когда применительно к конкретной решаемой задаче имеется некоторая совокупность вариантов сценариев, реализующих развитие процессов управления информационными ресурсами в зависимости от возникновения того или иного события в системе управления. В случае неопределенности, например, для выбора одного из равнозначных вариантов сценариев, необходим диалог с пользователем. Сценарии верхних уровней требуют описания, как задач управления системой, так и задействованных ими ресурсов, а также специфицирования условий и требований к выполнению задач, связей между ними и определения полномочий всех участников процесса управления. Всю необходимую информацию можно хранить в специально созданных таблицах БД или в структурированном текстовом файле.

Рассматривая сценарий как отдельный программный файл, который управляет последовательностью других программных приложений и запускается на выполнение

сценарием более высокого уровня, можно строить достаточно сложные распределенные системы управления. Многоуровневые иерархические связи между сценариями позволяют из разрозненных элементов построить единую интегрированную систему управления информационными ресурсами [4].

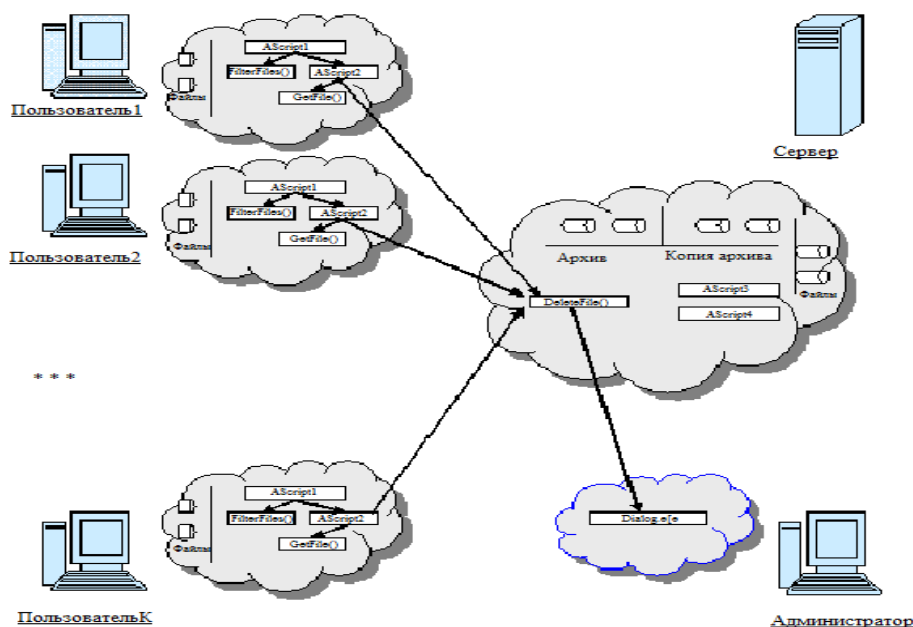


Рис.1. Схема взаимодействия сценариев при управлении распределенными информационными ресурсами

Возможны разнообразные схемы организации сценариев в корпоративных системах предприятий: их можно запускать на одном локальном ПК/сервере или на нескольких удаленных ПК/серверах; последовательно или параллельно. Для передачи управления автономным сценариям, выполняющимся на разных ПК, серверах или в разных сегментах корпоративной сети можно использовать сигналы с различных устройств (ПК, контроллеров, мобильного телефона, датчика инфракрасного излучения и др.). Такой подход сокращает объемы информации, циркулирующей между уровнями СУ, и приводит к гораздо более эффективному и гибкому управлению.

В зависимости от масштаба распределенной системы управления, процессы конструирования, программной реализации и сопровождения автономных сценариев могут обеспечиваться как «вручную», так и специально созданным CASE-средством. Последний вариант более предпочтителен, так как позволяет снизить сложность создания программных сценариев, увеличить их эффективность, уменьшить затраты на разработку и максимально использовать потенциал технологии автономных сценариев.

Заключение

Для автоматизации управления информационными ресурсами горно-металлургических предприятий и их интеграции могут использоваться автономные сценарии, которые легко адаптируются для решения задач любой степени сложности. Предложенная схема взаимодействия автономных сценариев позволит рационально использовать ресурсы корпоративной информационной системы, обеспечит эффективность и гибкость управления информационными ресурсами.

Список литературы

1. Козырь О.Ф. Разработка модели автономного сценария для решения задач управления информационными ресурсами вычислительной системы // Вестник Воронежского государственного технического университета.- 2010.-том 6, №4.- С.28-33
2. Филатов В.А., Кривонос В.А., Козырь О.Ф. Адаптивные автономные сценарии в задачах управления информационными ресурсами предприятия // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2013. - № 3. -Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1779> (доступ свободный)
3. Назин А.В., Позняк А.С. Адаптивный выбор вариантов: рекуррентные алгоритмы. - М.: Наука, 1986.-288 с.
4. Козырь О.Ф. Об одном подходе к реализации распределенной системы управления информационными ресурсами предприятия на основе автономных сценариев. // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием. - Старый Оскол: СТИ НИТУ МИСиС.- 2012 – т. 2. - С.110-114.

УДК 681.518.2

АДАПТИВНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Кривонос В.А., Бабенков В.А.

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета "МИСиС", Старый Оскол, Россия

krivonosov_v_a@mail.ru; bva211@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен наблюдатель, позволяющий оценивать координаты состояния объекта и низкочастотные составляющие входных возмущений. Параметры матрицы коррекции изменяются в процессе наблюдения, что повышает быстродействие наблюдателя и снижает чувствительность оценок к погрешностям измерения выхода.

Ключевые слова: технологический объект; наблюдатель состояния; адаптация; матрица коррекции.

ADAPTIVE OBSERVER OF A CONDITION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS

Krivososov V.A., Babenkov V.A.

Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science
And Technology "MISiS", Sary Oskol, Russia
krivososov_v_a@mail.ru; bva211@yandex.ru

Abstract. *The observer allowing to estimate coordinates of a condition of object and low-frequency components of entrance disturbances is considered. Parameters of a matrix of correction change in the course of supervision that allows to increase speed of the observer and to reduce sensitivity of estimates to errors of measurement of an exit.*

Keywords: *technological object; observer of a condition; adaptation; matrix of correction.*

Введение

Одним из перспективных направлений в управлении сложными динамическими объектами является использование регуляторов, построенных на координатах состояния [2,3] неизменяемой части системы. Однако разработка таких регуляторов требует наличия высокоэффективной системы оценивания этих координат. В данной статье рассматривается адаптивный наблюдатель координат состояния объекта и действующих на него возмущений, параметры которого изменяются при изменении характеристик объекта или по мере накопления информации в процессе наблюдения.

1. Наблюдение координат состояния и возмущений

Пусть уравнения движения динамического объекта в пространстве состояний и измерения его координат имеют вид:

$$\begin{aligned} X' &= A \cdot X + B \cdot (U + F); \\ Y &= C \cdot X + E, \end{aligned} \quad (1)$$

где X и X' - n -мерный вектор состояния и скорость его изменения соответственно;
 U и F – p -мерные векторы управления и возмущения (вектор F не измеряется);
 Y и E – m -мерные векторы результатов измерений выхода и погрешностей измерений;
 A , B и C матрицы, размерности которых соответственно равны $n \times n$, $n \times p$ и $m \times n$.

Уравнение наблюдателя Луенбергера [4] для данного объекта имеет вид:

$$\hat{X}' = A \cdot \hat{X} + B \cdot U + K(Y - C \cdot \hat{X}), \quad (2)$$

где \hat{X} - n -мерный вектор оценок координат состояния; K - $n \times m$ матрица коррекции движения наблюдателя, обеспечивающая необходимый характер переходного процесса.

Однако такой наблюдатель игнорирует наличие на входе возмущения F . Как правило, промышленные технологические объекты представляют собой фильтры низкой частоты, подавляющие высокочастотные составляющие возмущения. Поэтому основную опасность для качества управления объектом представляют собой низкочастотные составляющие F . Для оценки медленно изменяющейся составляющей возмущения F введем в наблюдаемый вектор \hat{Z} не только координаты состояния объекта \hat{X} , но и вектор \hat{F} возмущений: $\hat{Z} = \begin{bmatrix} \hat{X} \\ \hat{F} \end{bmatrix}$. При этом в модели наблюдателя будем полагать, что $\hat{F} = 0$, а вместо

матриц A , B , C и K используем расширенные матрицы A_p , B_p , C_p и K_p :

$$A_p = \begin{bmatrix} A & B \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad B_p = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C_p = [C \quad 0]; \quad K_p = \begin{bmatrix} K \\ K_F \end{bmatrix}; \quad K_F - \text{матрица коррекции оценок } F.$$

Размерности этих матриц соответственно равны $(n+p) \times (n+p)$, $(n+p) \times p$, $m \times (n+p)$ и $(n+p) \times m$.

Тогда уравнение расширенного наблюдателя состояния принимает вид:

$$\hat{Z}' = A_p \cdot \hat{Z} + B_p \cdot U + K_p(Y - C_p \cdot \hat{Z}). \quad (3)$$

При этом точность оценивания характеризуется величиной $\Delta Z = Z - \hat{Z}$, где $Z = \begin{bmatrix} X \\ F \end{bmatrix}$.

Сходимость процедуры оценивания обеспечивается в том случае, когда собственные числа λ_j матрицы $A_p - K_p \cdot C_p$ имеют отрицательные вещественные части. Значения λ_j являются корнями характеристического уравнения

$$\det(A_p - K_p \cdot C_p - \lambda \cdot I) = 0, \quad (4)$$

где I – единичная матрица соответствующей размерности; \det – символ определителя.

Выбором K_p можно управлять скоростью сходимости и характером переходного процесса в наблюдателе. Теоретически время сходимости можно сделать бесконечно малым, однако, при этом абсолютные значения составляющих вектора K_p стремятся к бесконечности. Учитывая, что в результатах измерения Y присутствуют шумы E (см. (1)), можно заметить, что рост K_p ведет к возрастанию шумовой составляющей в оценках наблюдателя (3). Особенно остро эта проблема стоит при непрерывной оценке состояния по данным дискретных измерений выхода объекта [6]. Поэтому выбор матрицы K_p должен

быть разумным компромиссом между скоростью сходимости наблюдателя и чувствительностью оценок к погрешностям измерения.

На начальном этапе наблюдения (при первоначальном запуске системы, при резких изменениях возмущений), когда ошибки наблюдения $\Delta Z = Z - \hat{Z}$ достаточно велики, наблюдатель целесообразно настраивать на «быстрые» переходные процессы. Напомним, что такой «быстрый» наблюдатель будет иметь повышенную чувствительность к погрешностям измерения. Однако на этом этапе наблюдения в ошибке ΔZ составляющая, обусловленная погрешностью измерения, как правило, существенно уступает переходной составляющей, вызванной начальной неопределенностью оценок координат и действующих возмущений. И задача наблюдателя – как можно скорее вывести оценки в зону истинных значений наблюдаемых параметров.

После завершения переходных процессов в наблюдателе переходная составляющая в ошибке ΔZ становится достаточно малой, и на первый план выходит задача подавления эффекта от шумов измерения. Для этого наблюдатель необходимо перенастроить на более «мягкий» режим, с более длительным переходным процессом.

Переходная составляющая в изменении ошибки наблюдения зависит от корней λ_j характеристического уравнения (4). Если все корни вещественные, то выражение для переходной составляющей имеет вид:

$$Z_{\text{пер}} = \sum_{j=1}^{n+p} R_j * e^{\lambda_j t}, \quad (5)$$

где R_j - вектор числовых коэффициентов, зависящих от исходного отклонения оценок \hat{Z} координат состояния и возмущений от их истинных значений. Очевидно, что при прочих равных условиях переходные составляющие в наблюдателе, у которого все $\lambda_j = -1$, затухают в 3 раза дольше, чем у наблюдателя с $\lambda_j = -3$. Поэтому настройку вектора K_p коэффициентов коррекции наблюдателя целесообразно производить так, чтобы обеспечить необходимые значения λ_j (а, следовательно, и необходимое быстродействие наблюдателя). Для повышения эффективности наблюдения координат состояния технологических объектов можно рекомендовать разработку и использование двух настроек наблюдателя (возможно использование и большего числа настроек). Первую из которых назовем настройкой переходного режима, а вторую – настройкой установившегося режима. Настройка может осуществляться с использованием аналитического подхода (обеспечение заданного расположения λ_j) либо в результате моделирования объекта с наблюдателем в среде Matlab.

После определения таких настроек осуществляется моделирование системы с наблюдателем, имеющим настройку переходного режима, и оценивается время переходного процесса t_m .

В процессе работы осуществляется переключение настроек наблюдателя в зависимости от режима работы. С начала наблюдения до момента времени t_m используются «настройки переходного режима», а далее – «настройки установившегося режима».

2. Пример

В качестве примера рассмотрена задача оценивания координат состояния и входного возмущения $f(t) = 0,4 + 0,2 \sin(0,1t)$ объекта второго порядка, передаточная функция

которого имеет вид:
$$W(s) = \frac{1}{2s^2 + 3s + 1}.$$

Рассмотрены три альтернативных настройки матрицы коррекции K_p :

- 1) наблюдатель с постоянной настройкой на быстрый переходный процесс;
- 2) наблюдатель с постоянной настройкой «на установившийся режим»;
- 3) наблюдатель с переключением режимов настройки.

В первом варианте настройки коэффициенты матрицы коррекции K_p выбраны так, чтобы все корни λ_j характеристического уравнения (4) были равны -3 . При этом

$$k_1 = 7,5; k_2 = 15,25; k_3 = 54. \quad (6)$$

Во втором варианте наблюдатель настроен так, чтобы все $\lambda_j = -1,5$. При этом

$$k_1 = 3; k_2 = 1,75; k_3 = 6,75. \quad (7)$$

В третьем варианте с начала работы до третьей секунды использовались коэффициенты коррекции, задаваемые равенствами (6), а после третьей – равенствами (7).

Качество работы наблюдателя оценивалось следующими показателями:

- время переходного процесса в наблюдателе;
- максимальное отклонение оценки от истинного значения в установившемся режиме по каждому из оцениваемых сигналов ($\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta f$). Результаты работы наблюдателей состояния с различными настройками приведены в таблице.

Результаты работы наблюдателя состояния с различными настройками K_p

Настройка наблюдателя	Время переходного	Максимальная ошибка оценивания в установившемся режиме, %
-----------------------	-------------------	---

	процесса, с	Δx_1	Δx_2	Δf
На быстрый переходный процесс	2,7	1,4	14	30
На установившийся режим	5,2	0,8	3	5
С переключением параметров K_p	2,7	0,8	3	5

Заключение

Анализ результатов работы показал, что при использовании наблюдателя с переключением параметров матрицы K_p достигается высокое быстродействие и низкая чувствительность к погрешностям измерения выхода. Это связано с тем, что на первом этапе работы коэффициенты (6) матрицы коррекции обеспечили быстрый выход координат состояния наблюдателя в зону истинных значений оцениваемых параметров. После этого переключение матрицы коррекции на коэффициенты (7) позволило снизить чувствительность к погрешностям измерения.

Список литературы

1. Шубладзе А.М. и др. Высокоточное управление электропечами адаптивным кусочно-непрерывным регулятором // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006.- № 5.- С. 18-21
2. Бахшиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения (гарантирующий подход). – М.: Наука, 1980.- 360 с.
3. Еременко И.Ф., Кривоносов В.А. Система управления с наблюдателем координат состояния и неопределенного возмущения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. -2005. -№ 7.- С. 10-13
4. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана–Бьюси.- М.: Наука, 1982.- 199 с.
5. Кривоносов В.А., Митин А.С. Диагностика повреждений шибера затвора и повышение точности определения уровней металла в стальковше и промковше // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика..-2010. - № 10.- С. 61-64 .
6. Кривоносов В.А., Бабенков В.А. Непрерывно-дискретный наблюдатель состояния химико-технологического процесса // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.- 2014.- № 1.- С. 128-135

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ МЕТАЛЛА В СТАЛЬКОВШЕ И ПРОМКОВШЕ МНЛЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ

Кривоносов В.А., Митин А.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета "МИСиС", Старый Оскол, Россия
krivonosov_v_a@mail.ru; mitin_a_s@mail.ru

***Аннотация.** Рассматривается задача повышения точности определения уровней металла в сталеразливочном и промежуточном ковшах машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Для решения этих задач предлагается использовать адаптивный наблюдатель состояния.*

***Ключевые слова:** МНЛЗ, уровень металла, точность, наблюдатель состояния.*

IMPROVEMENT OF ACCURACY OF MEASUREMENT OF LEVEL OF METAL IN THE LADLE WITH STEEL AND INDUSTRIAL LADE OF THE MACHINE OF CONTINUOUS MOULDING OF PREPARATIONS USING ADAPTIVE OBSERVER OF A CONDITION

Krivonosov V.A., Mitin A.S.

Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science And Technology "MISiS", Sary Oskol, Russia
krivonosov_v_a@mail.ru; mitin_a_s@mail.ru

***Abstract.** The problems of improvement of accuracy of an estimation in the ladle with steel and industrial ladle of the machine of continuous moulding of preparations are considered. It is offered to use the adaptive observer of a condition for the solution of these problems.*

***Key words:** machine of continuous moulding of preparations, the level of metal, accuracy, the observer of a condition.*

Введение

На разливочной площадке современной МНЛЗ располагается комплекс оборудования, обеспечивающего технологические операции от приема сталеразливочных ковшей с жидким металлом до бесперебойной подачи металла в кристаллизаторы в режиме длительной разливки методом "плавка на плавку". Около 150 тонн металла подается на разливку в сталеразливочном ковше (стальковше), из которого через шиберный затвор сталь поступает в

промежуточный ковш (промковш). Из промковша по четырем ручьям, регулируемым шиберными затворами, металл подается в водоохлаждаемые кристаллизаторы, где осуществляется первоначальное формирование твердой поверхности заготовок. Дальнейшая кристаллизация и охлаждение слитка происходит в зонах водного и водо-воздушного охлаждения МНЛЗ.

На поверхности расплавленного металла в стальковше находится слой шлака толщиной 0,22 – 0,25 м, который защищает металл от окисления. Выпуск шлака из стальковша крайне нежелателен, так как шлак, попавший в промковш, может в дальнейшем поступить в кристаллизаторы, что приводит к дефекту в заготовках. В то же время, слишком раннее прекращение разливки приводит к тому, что довольно большое количество качественного металла вместе со шлаком уходит в отвал.

В настоящее время оценку уровней осуществляют, как правило, весовым способом. Для этого стальковш и промковш располагаются на весах, по показаниям которых производится пересчет веса в уровень. При этом существенное влияние на точность оценки уровней оказывают погрешности весов. На начальном этапе разливки, когда ковши заполнены металлом, погрешность взвешивания составляет порядка 0,5 % от веса брутто. Однако, по мере уменьшения массы металла, погрешность во взвешивании увеличивается. Снижение точности оценки уровня металла к концу разливки приводит к возможности выпуска шлака из стальковша в промковш, а из промковша в кристаллизаторы.

Для повышения точности определения уровней жидкого металла в стальковше и промковше предлагается разработать адаптивный наблюдатель состояния [1].

1 Разработка адаптивного наблюдателя состояния

Для определения расхода металла $G_{СК}(t)$, через выпускное отверстие шиберного затвора, воспользуемся гидродинамической моделью истечения жидкости через отверстие:

$$G_{СК}(t) = \mu \cdot S_I(t) \cdot \sqrt{2g \cdot h_{IЭ}(t)}, \quad (1)$$

где $G_{СК}(t)$ – расход металла, через выпускное отверстие шиберного затвора стальковша, м³/мин; μ – коэффициент расхода, зависящий от вязкости жидкой стали разливаемой марки; $S_I(t)$ – площадь выпускного отверстия стальковша, соответствующая измеренному положению шибера, м²; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²; $h_{IЭ}(t)$ – уровень металла, эквивалентный по гидростатическому давлению на дно ковша общему давлению металла и шлака, м,

$$h_{IЭ}(t) = h_I(t) + \frac{\rho_{Ш}}{\rho_C} \cdot h_{Ш},$$

где ρ_C и $\rho_{ш}$ - плотности стали и шлака соответственно, кг/м³; $h_I(t)$ и $h_{ш}$ - уровень металла и шлака в стальковше соответственно, м.

Изменение уровня металла в стальковше описывается дифференциальным уравнением 1-го порядка:

$$h'_{IЭ}(t) = -\frac{G_{СК}(t)}{S_{СК}(h_{IЭ})}, \quad (2)$$

где $S_{СК}(h_{IЭ})$ - площадь горизонтального сечения внутренней части ковша на уровне $h_{IЭ}$ (площадь зеркала металла), м².

Уравнение, описывающее изменение уровня $h_2(t)$ в промковше, имеет вид:

$$h'_{2Э}(t) = \frac{G_{СК}(t) - G_{ПК}(t)}{S_{ПК}(h_{2Э})}, \quad (3)$$

где $S_{ПК}(h_{2Э})$ - площадь зеркала металла в промковше на уровне $h_{2Э}(t)$, м²; $G_{ПК}$ - суммарный расход металла из промковша в 4 кристаллизатора, м³/мин.

Построим адаптивный наблюдатель состояния [2] на основе гидродинамической модели истечения жидкости (1) и уравнений, описывающих изменение уровня в стальковше (2) и промковше (3). В качестве координат состояния наблюдателя выберем следующие значения: $x_1(t) = h_{IЭ}(t)$ - уровень металла в стальковше, $x_2(t) = h_{2Э}$ - уровень металла в промковше.

$$\begin{aligned} \hat{x}'_1(t) &= -\frac{\mu \cdot u_1(t) \cdot \sqrt{2g \cdot \hat{x}_1(t)}}{S_{СК}(x_1)} + k_{11} \cdot \Delta x_1(t) + k_{12} \cdot \Delta x_2(t); \\ \hat{x}'_2(t) &= \frac{\mu \cdot u_1(t) \cdot \sqrt{2g \cdot \hat{x}_1(t)} - u_2(t)}{S_{ПК}(x_2)} + k_{21} \cdot \Delta x_1(t) + k_{22} \cdot \Delta x_2(t); \end{aligned} \quad (4)$$

где $\hat{x}_i(t)$ - оценки наблюдателем соответствующих координат состояния; $\Delta x_1(t) = h_{IЭ}(t) - \hat{x}_1(t)$, $\Delta x_2(t) = h_2(t) - \hat{x}_2(t)$ - отклонения оценок наблюдателя от измеренных значений уровней в стальковше и промковше; k_{ij} - коэффициенты коррекции движения наблюдателя по результатам измерений; $u_1(t)$ - оценка площади $S_I(t)$ выпускного отверстия стальковша по измеренному положению шиберов, м²; $u_2(t)$ - оценка суммарного расхода стали из промковша в кристаллизаторы по измеренным скоростям вытягивания слитков, м³/мин.

При выборе коэффициентов коррекции k_{ij} необходимо учитывать:

- влияние на сходимость процесса наблюдения;
- чувствительность оценок наблюдения к погрешностям измерения;
- влияние на скорость и качество переходных процессов.

2 Выбор коэффициентов коррекции матрицы К

Рассмотрим подробнее выбор коэффициентов матрицы коррекции К. В процессе разливки стали в стальковше наблюдается непрерывное падение уровня металла, что оказывает непосредственное влияние на погрешность измерения уровня весовым способом, а следовательно и определение величины $\Delta x_1(t)$. Аналогичное явление происходит при выпуске металла из промковша, когда стальковш пуст. Для повышения точности оценки уровней металла с использованием наблюдателя состояния необходимо во время разливки адаптировать коэффициенты матрицы коррекции К. Для снижения влияния величины погрешности и сохранения высокой скорости переходного процесса целесообразно уменьшать коэффициенты k_{11} , k_{22} по экспоненциальному закону. На рисунке 1 представлен график изменения коэффициента коррекции $k_{11}(t)$, аналогичный коэффициенту $k_{22}(t)$.

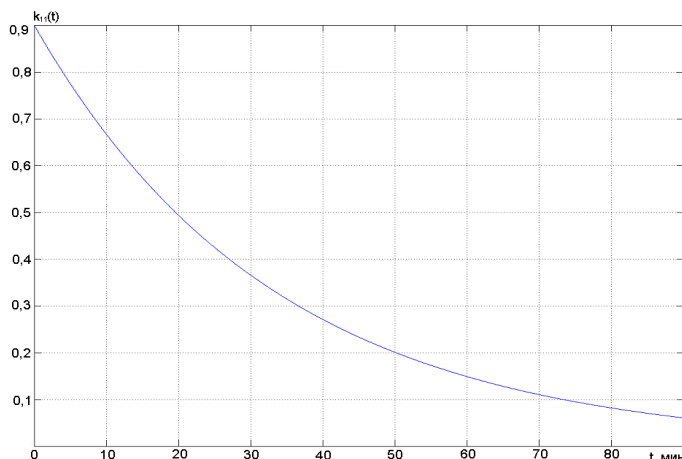


Рис. 1 График изменения коэффициента коррекции $k_{11}(t)$

Изменение коэффициентов коррекции по экспоненциальному закону, прежде всего, обусловлено видом автокорреляционной функции погрешности измерения весовым методом, имеющей вид:

$$K_{\eta\eta_1}(t) = 0,00018 \cdot K_{\eta}^2(t) \cdot e^{-|t|}; \quad K_{\eta\eta_2}(t) = 0,00012 \cdot K_{\eta}^2(t) \cdot e^{-|t|},$$

где $K_{\eta}^2(t)$ – коэффициент, отражающий увеличение погрешности определения уровня металла весовым методом, $K_{\eta\eta_1}(t)$, $K_{\eta\eta_2}(t)$ – автокорреляционные функции погрешностей измерения уровней металла в стальковше и промковше, соответственно.

3 Имитационное моделирование в среде Matlab

Имитационное моделирование работы адаптивного наблюдателя состояния в среде Matlab производились со следующими параметрами:

$$S_{CK} = const = 8,54 \text{ м}^2; \quad S_{ПК} = const = 6,28 \text{ м}^2; \quad G_{ПК}(t) = const = 0,2592 \text{ м}^3/\text{мин}; \quad \mu = 0,6;$$

$$h_{1\varnothing}(0) = 2,4 \text{ м}; \hat{x}_1(0) = 2,43 \text{ м}; h_2(0) = 0,7 \text{ м}; \hat{x}_2(0) = 0,67 \text{ м}; k_{11}(t) = 0,9 \cdot e^{-0,03t}; k_{12}(t) = 0;$$

$$k_{22}(t) = 1,8 \cdot e^{-0,09t}; k_{21}(t) = 0;$$

На рисунках 2 и 3 показаны значения абсолютных ошибок $\delta_1(t)$ и $\delta_2(t)$ в определении уровней стали в стальной ковше и промковше.



Рис. 2. Графики ошибок оценок уровня в стальной ковше

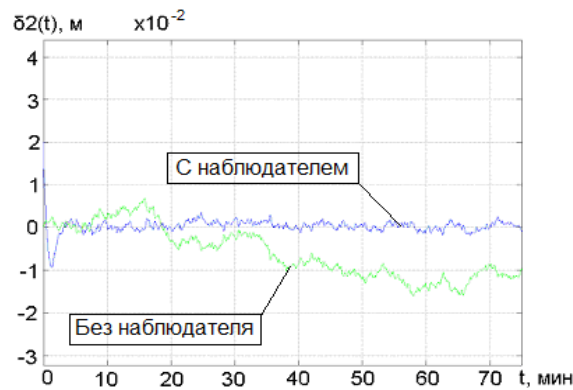


Рис. 3. Графики ошибок оценок уровня в промковше

Как видно из графиков, применение адаптивного наблюдателя координат состояния позволяет значительно снизить абсолютную погрешность оценки уровня, особенно при окончании выпуска стали из стальной ковша. Повышение точности оценки уровня металла в стальной ковше позволит снизить вероятность выпуска шлака из стальной ковша.

Список литературы

1. Кривонос В.А., Митин А.С. Повышение точности оценки уровней металла в стальной ковше и промковше МНЛЗ с использованием нелинейного наблюдателя состояния – Вестник ВГТУ, 2010, том 6, № 4. С. 41 – 45.
2. К. Браммер, Г.Зиффлинг Фильтр Калмана – Бьюси. – М.: Наука, 1982. - 200 с.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ОБЖИГА ОКАТЫШЕЙ
В КОНВЕЙЕРНОЙ ОБЖИГОВОЙ МАШИНЕ**

Кривонов В.А., Пирматов Д.С.

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета "МИСиС", Старый Оскол, Россия

krivonosov_v_a@mail.ru; pirmatov.d.s@yandex.ru

***Аннотация.** Рассматривается задача повышения эффективности работы обжиговой машины (ОМ). Предложена процедура оптимизации режима. В качестве критерия эффективности работы ОМ принят удельный расход топлива.*

***Ключевые слова:** обжиговая машина; оптимизация; математическая модель; критерий эффективности.*

**OPTIMIZATION OF THE ROUTINE OF ROASTING
PELLETS IN THE CONVEYOR ROAST MACHINE**

Krivonosov V.A., Pirmatov D.S.

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science And Technology "MISiS", Stary Oskol, Russia

krivonosov_v_a@mail.ru; pirmatov.d.s@yandex.ru

***Abstract.** The problem of increase of overall performance of the roast machine is considered. Procedure of optimization of the routine is offered. As criterion of overall performance specific fuel consumption is accepted.*

***Keywords:** roast machine; optimization; mathematical model; criterion of efficiency.*

Введение

В настоящее время окатыши широко используются при выпуске стали, горячебрикетированного железа и чугуна. Термообработка окатышей в зонах машины [1,2] производится высокотемпературным теплоносителем, который подогревается теплом от сжигания природного газа. Поэтому снижение удельного расхода природного газа на термообработку окатышей при заданной производительности машины с соблюдением требований регламента является актуальной задачей.

Структурная схема обжиговой машины ОК-306 приведена на рисунке 1. Обжиговая машина состоит из зон сушки, подогрева, обжига, рекуперации и

охлаждения, по которым в процессе термообработки последовательно перемещаются окатыши. Прямой нагрев теплоносителя теплом от сжигания природного газа производится только в зоне обжига, в остальных же зонах для нужд технологического процесса используются вторичные источники тепла. В секциях зоны сушки и подогрева такими источниками тепла служат продукты сгорания и нагретый воздух, а в зонах охлаждения - охлаждающийся слой окатышей. Использование вторичных источников позволяет увеличить температуру слоя окатышей и воздуха на входе зоны обжига, что способствует снижению удельных затрат природного газа.

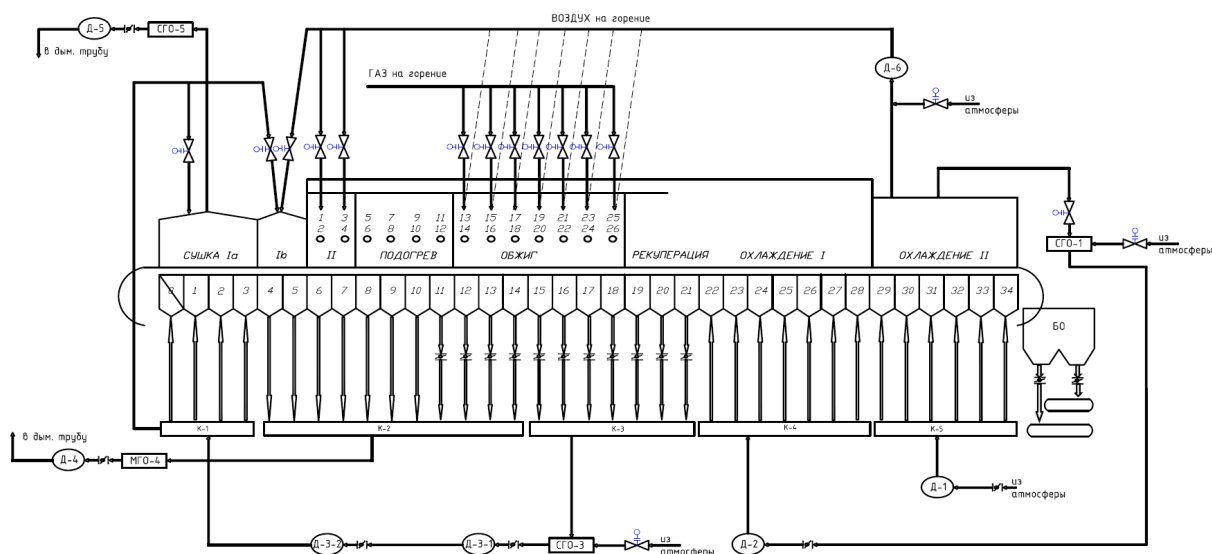


Рис. 1 Структурная схема обжиговой машины ОК-306

Определение режима термообработки, в котором удельный расход природного газа на обжиг окатышей минимален при соблюдении требований технологического регламента, осложняется следующими факторами:

- отсутствие возможности непосредственного контроля параметров слоя в зонах машины (температура, влажность);
- действиями возмущений (изменение среднего диаметра гранул окатышей, скорости движения паллет ОМ, средней влажности и теплофизических свойств окатышей, а также порозности слоя).

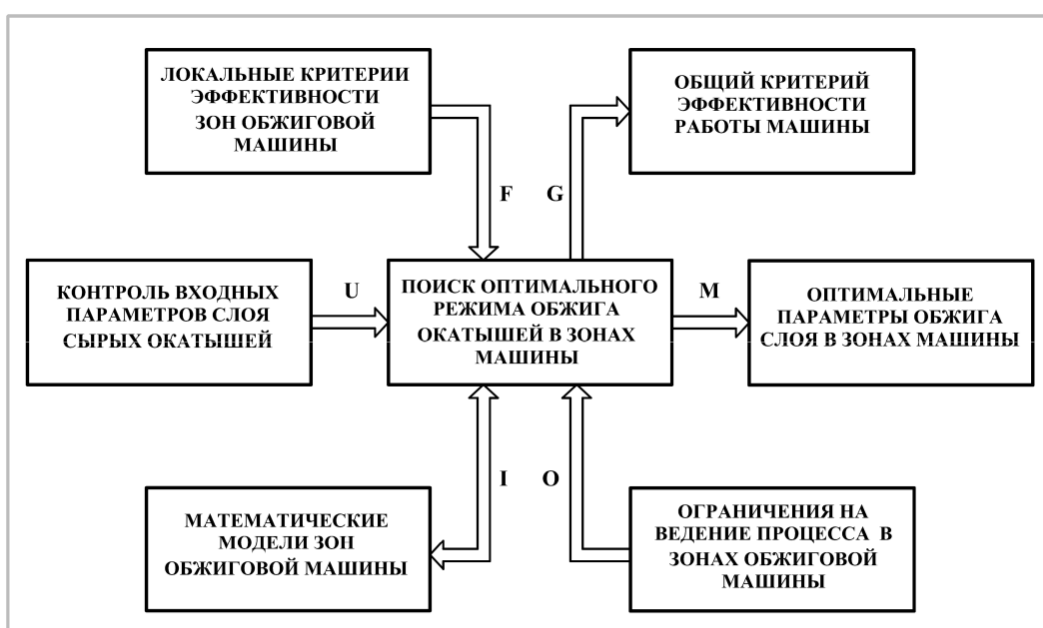
Эти факторы вынуждают эксплуатационный персонал вести термообработку по косвенным параметрам (температура теплоносителя в зонах), поддерживая режим, при котором температура слоя окатышей в зонах ОМ находится в окрестностях середины регламентного диапазона. Такой режим обжига позволяет свести к минимуму опасность выхода температуры окатышей под действием возмущений за пределы регламента, но далеко не всегда обеспечивает минимальные затраты природного газа.

Подсистема статической оптимизации режима обжига

Одним из путей определения параметров оптимального режима обжига, который соответствует минимальному расходу природного газа при заданной производительности машины с соблюдением требований регламента, является разработка подсистемы статической оптимизации. Структурная схема подсистемы приведена на рисунке 2. Схема состоит из блоков, взаимодействие которых обеспечивает нахождение оптимальных параметров обжига слоя в зонах машины.

1. *Общий критерий эффективности.* В качестве критерия эффективности работы всей обжиговой машины выбран удельный расход природного газа т.е. отношение расхода газа $G_{ПГ}$ к потоку окатышей $G_{ОК.ВХ}$, входящих в ОМ за время T

$$I = \int_0^T G_{ПГ}(t)dt / \int_0^T G_{ОК.ВХ}(t)dt. \quad (1)$$



G - вектор компонентов общего критерия эффективности ОМ; F - вектор локальных критериев эффективности;
 U - вектор параметров слоя сырых окатышей; M - вектор оптимальных параметров обжига слоя;
 I - вектор информационного обмена; O - вектор ограничений на процесс обжига.

Рис. 2 Структурная схема подсистемы статической оптимизации

2. *Локальные критерии эффективности зон обжиговой машины.* Локальные критерии эффективности выбраны для групп зон, обладающих общими управляющими воздействиями. К первой группе зон отнесена секция Ia зоны сушки, ко

второй группе секции Ib, II и зона подогрева. Локальные целевые функции первой и второй групп зон имеют следующий вид:

$$\Theta_{OK.BYX}(\bar{m}) \rightarrow \max_{\bar{m} \in \bar{M}}, \quad (2)$$

где $\Theta_{OK.BYX}$ - температура слоя окатышей на выходе из группы зон; \bar{m}, \bar{M} - вектор управляющих воздействий и область его возможных значений соответственно.

В третью группу зон включены все секции зоны обжига и зона рекуперации. Целевая функция в данной группе зон:

$$G_{III}(\bar{m}) \rightarrow \min_{\bar{m} \in \bar{M}} \quad (3)$$

В четвертую и пятую группу зон входят зоны охлаждения I и II. Целевая функция четвертой и пятой групп зон имеет вид:

$$\Theta_{OK.BYX}(\bar{m}) \rightarrow \min_{\bar{m} \in \bar{M}}. \quad (4)$$

3. *Математические модели зон обжиговой машины.* Нелинейные модели основаны на уравнениях газодинамики и теплообмена зернистого слоя и связывают температуру и влажность слоя на выходе из зоны с управляющими воздействиями и возмущениями. Входами моделей являются:

- среднемассовая температура слоя окатышей на входе;
- среднемассовая влажность слоя;
- скорость движения паллет ОМ;
- перепад давления дымовых газов при прохождении через слой окатышей;
- температура газов, поступающих в слой;
- эквивалентный диаметр окатышей.

Выходами моделей являются:

- среднемассовая температура слоя окатышей;
- среднемассовая влажность слоя;
- среднеобъемная температура газов, выходящих из слоя окатышей.

Разработка моделей подробно описана в статье [3].

4. *Ограничения на ведение процесса в зонах обжиговой машины.* В процессе обжига окатышей в зонах ОМ накладываются ограничения на следующие параметры:

- влажность слоя окатышей;
- максимальная температура окатышей;
- температура окатышей на выходе из ОМ;

- скорость нагрева окатышей;
- скорость охлаждения;
- перепад давления теплоносителя через слой окатышей;
- температура теплоносителя.

5. *Контроль входных параметров слоя сырых окатышей.* На входе обжиговой машины контролируются следующие параметры процесса:

- скорость движения паллет ОМ;
- средний диаметр окатышей;
- исходная влажность окатышей.

6. *Поиск оптимального режима обжига окатышей в зонах машины.* Данный блок предназначен для организации поиска параметров оптимального режима обжига. Процесс поиска основан на использовании данных из блоков математических моделей, ограничений, локальных и глобального критериев эффективности, контроля входных параметров слоя сырых окатышей и их обработке по специальному алгоритму. На выходе получаем искомые параметры обжига слоя. Процедура запускается при изменении одного из контролируемых параметров слоя сырых окатышей на величину большую Δ от значения, использованного для предыдущей оптимизации. Подробно алгоритмы поиска описаны в статье [4].

Заключение

Разработанная подсистема статической оптимизации позволяет определить параметры режима обжига слоя в зонах, соответствующие минимальному удельному расходу природного газа при заданной производительности машины с соблюдением требований регламента. Снижение удельного расхода природного газа стало возможным за счет повышения эффективности контроля и управления режимом обжига на основе измерения и оценки изменения параметров слоя сырых окатышей, входящих в ОМ. Моделирование работы подсистемы статической оптимизации показало возможность уменьшения удельного расхода природного газа на 3,5 %.

Список литературы

1. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. *Металлургия железа: учебник для вузов.* – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 464 с.

2. Юсфин Ю.С., Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей. – М.: «Металлургия», 1973. – 272 с.
3. Кривонос В.А., Пирматов Д.С. Математическая модель процесса обжига окатышей по зонам обжиговой машины для оптимизации режима // Вестник Воронежского государственного технического университета.-2010, Т.6. - №5. С. 128-132.
4. Кривонос В.А., Пирматов Д.С. Поиск параметров оптимального режима обжига окатышей в конвейерной обжиговой машине. // Десятая Международная научно-практическая конференция «Наука и технологии: шаг в будущее-2014». – Прага, 2014. – С. 52-57.

УДК 519.6+ 669

**О ПРИБЛИЖЕННОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ
СЛИТКА В ЗОНЕ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ**

А.П.Михайлов, А.Н.Сапрыкина

Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
Россия, г.Старый Оскол
ansaprykina@mail.ru

Аннотация. Представлена математическая модель для нахождения приближенного решения задачи Стефана.

Ключевые слова: Криволинейная МНЛЗ; задача Стефана.

**ON THE APPROXIMATE SOLUTION OF THE HEAT FOR
INGOT SECONDARY COOLING ZONE**

A.P.Mikhailov

A.N.Saprykina

SaryOskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»
Russia, SaryOskol

Abstract. Presented the mathematical model for finding an approximate solution of the Stefan problem.

Keywords: Curved continuous casting machine; Stefan problem.

Рассмотрим следующую модель тепломассопереноса для слитка на криволинейных участках МНЛЗ[1]

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial T}{\partial \tau} + \Theta_m \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{1}{c\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right\} \\
& T(0, r, \varphi) = T_0(r, \varphi) \\
& \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha_e (T_e - T|_{r=R}) + c_e (T_e^4 - T|_{r=R}^4) \\
& -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = \alpha_l (T_l - T|_{r=r_0}) + c_l (T_l^4 - T|_{r=r_0}^4) \\
& T(\tau, r, \varphi) \Big|_{r=\xi_i^-(\tau, \varphi)} = T(\tau, r, \varphi) \Big|_{r=\xi_i^+(\tau, \varphi)} = T_{kp}; \quad i = 1; 2 \\
& \lambda [T(\tau, r, \varphi)] \Big|_{r=\xi_i(\tau, \varphi)} = \mu \rho_{kp} \left(\Theta_m \frac{\partial \xi_i}{\partial \varphi} + \frac{\partial \xi_i}{\partial \tau} \right) \\
& \xi_i(0, \varphi) = \xi_i(\varphi)
\end{aligned} \tag{1}$$

Здесь:

Θ_m — угловая скорость движения слитка на m -ом криволинейном участке;

$r = \xi_1(\tau, \varphi)$, $r = \xi_2(\tau, \varphi)$ — границы раздела фаз.

Для нахождения приближенного решения этой модели рассматривается последовательность $T_k(\tau, r, \varphi)$ решений следующих задач

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial T_{k+1}}{\partial \tau} + \Theta_m \frac{\partial T_k}{\partial \varphi} = \frac{1}{c\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial T_{k+1}}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda \frac{\partial T_k}{\partial \varphi} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T_{k+1}}{\partial r} \right\} \\
& T_{k+1}(0, r, \varphi) = T_0(r, \varphi) \\
& \lambda \frac{\partial T_{k+1}}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha_e (T_e - T_{k+1}|_{r=R}) + c_e (T_e^4 - T_k^4|_{r=R}) \\
& -\lambda \frac{\partial T_{k+1}}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = \alpha_l (T_l - T_{k+1}|_{r=r_0}) + c_l (T_l^4 - T_k^4|_{r=r_0}) \\
& T_{k+1}(\tau, r, \varphi) \Big|_{r=\xi_i^-(\tau, \varphi)} = T_{k+1}(\tau, r, \varphi) \Big|_{r=\xi_i^+(\tau, \varphi)} = T_{kp}; \quad i = 1; 2 \\
& \lambda [T_{k+1}(\tau, r, \varphi)] \Big|_{r=\xi_i(\tau, \varphi)} = \mu \rho_{kp} \left(\Theta_m \frac{\partial \xi_i}{\partial \varphi} + \frac{\partial \xi_i}{\partial \tau} \right) \\
& \xi_i(0, \varphi) = \xi_i(\varphi)
\end{aligned} \tag{2}$$

Нулевое приближение решения $T_0(\tau, r, \varphi)$ можно найти, например, решая стационарную задачу.

Можно доказать, что обобщенное решение задач (2) сходится к решению задачи (1) при $k \rightarrow \infty$ в $L^2(0, t_0; H_0^1(Q))$.

Список литературы

1. Иванова А.А. Моделирование процесса кристаллизации, идентификация параметров внешнего теплообмена и управление расходами воды в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. – 2010. - № 1(18) – С. 127–130

УДК 538.935

УПРАВЛЕНИЕ ЗАРЯДОВЫМ СОСТОЯНИЕМ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ InAs В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С ТОНКИМИ СЛОЯМИ In_2Te_3 И $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0,65$)

Михайлюк Е. А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. УГАРОВА
(филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС», Россия, Старый Оскол
gazon1978@yandex.ru

Аннотация: в статье приведены результаты исследования вольт – фарадных характеристик ($C(V)$) однослойных структур Al - Al_2O_3 – InAs (n – и p – типа) и двухслойных структур Al – Al_2O_3 – In_2Te_3 – InAs (n – типа) и Al – Al_2O_3 – $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0,65$) – InAs (n – типа), полученных способом гетеровалентного замещения и напылением из независимых источников. Установлено, что изменение степени легирования приповерхностной области InAs связано не только с увеличением концентрации донорной примеси в процессе осаждения слоя Al_2O_3 , но и за счет теллура в слоях In_2Te_3 (или $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$).

Ключевые слова: гетероструктуры, модуляция пространственного заряда, уровень легирования, вольт – фарадные характеристики.

CONTROL OF THE CHARGE STATE OF THE SURFACE REGION IN InAs HETEROSTRUCTURES WITH THIN LAYERS OF In_2Te_3 AND $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0,65$)

Mikhailyuk E.A.

Starooskolsky technological institute
(branch) of Federal state Autonomous educational institution of higher professional education
"national research technological University "MISIS", Russia, Stary Oskol

Abstract: the article presents the research results of capacitance - voltage characteristics of single - layer structures of the Al - Al₂O₃ - InAs (n - and p - type) and double - layer structures of the Al - Al₂O₃ - In₂Te₃ - InAs (n - type) and Al - Al₂O₃ - In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te₃ (x ~ 0,65) - InAs (n - type) obtained by the method heterovalent substitution and sputtering from independent sources. It is established that the change in the degree of doping of the surface region InAs is associated not only with increasing concentration of donor impurities in the process of deposition of a layer of Al₂O₃, but due to tellurium layers In₂Te₃ (or In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te₃).

Keywords: heterostructures, modulation of the space charge, the doping level, capacitance - voltage characteristics .

Изученные механизмы токопрохождения в полевых гетероструктурах Al – In₂Te₃ – InAs (n – типа) и Al – In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te₃ (x ~ 0,65) – InAs (n – типа) [1] и рассчитанные параметры электронных состояний в этих системах [2], на первый взгляд, позволяют обеспечивать модуляцию пространственного заряда в приповерхностной области InAs (n – типа) внешним электрическим полем. Для этого достаточно обеспечить толщину напыленных пленок In₂Te₃ и In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te₃ (x ~ 0,65) меньше дебаевской длины экранирования L_D. Однако возможность использования данных слоистых структур в конкретных устройствах твердотельной электроники ограничиваются из-за сравнительно высокого уровня сквозных токов. Доказательством этого факта может служить то, что модуляция пространственного заряда даже при толщине слоев In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te₃ менее 0,1 мкм не наблюдается. Единственным объяснением наблюдаемого факта может быть то, что уровень сквозных токов в гетероструктурах превышает суммарный генерационно-рекомбинационный ток в области пространственного заряда (ОПЗ) InAs.

В работе [3] предложен способ снижения сквозного тока в исследуемых гетероструктурах. Для этого предлагается использовать новый тип полевых гетероструктур, включающих полупроводниковые слои ограниченной толщины П'– например, структур типа МП'ДП. Так как тонкие пленки широкозонных полупроводников (П') могут выполнять функции диэлектрических подзатворных слоев в полевых гетероструктурах при толщинах много меньше дебаевской длины экранирования L_D. Для этого, на поверхность In₂Te₃ или In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te₃ (x ~ 0,65) наносится методом термического пиролиза изопропилата диоксида алюминия в кислороде слой Al₂O₃ [4].

Подробный анализ электрических характеристик однослойных структур Al - Al₂O₃ – InAs (n – и p – типа), с различными значениями d толщины слоя Al₂O₃ ~ 40 нм ÷ 50 нм, позволяет сделать вывод о совпадении с теоретическими зависимостями C(V) для МДП – системы. Это указывает на выполнимость в данном случае условия малости толщины

полупроводникового слоя по сравнению с длиной экранирования. При определенном значении d характеристика структуры на основе InAs n- и p-типа полностью совпадают. То есть в области внешних напряжений, соответствующих обеднению в InAs в структуре на основе InAs n-типа слой Al_2O_3 оказывается обогащенным основными носителями заряда, что обуславливает нелинейность распределения потенциала по толщине слоя Al_2O_3 и проявляется на эксперименте в перераспределении падения напряжения в структуре таким образом, что большая часть напряжения оказывается приложенной к InAs подложке. Оценка величины концентрации электронов в InAs на границе раздела, проведенная путем сопоставления экспериментальных высокочастотных $C(V)$ характеристик теоретическим, рассчитанным при варьировании величины концентрации электронов, дает значение $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Сдвиг $C(V)$ характеристик по оси напряжений в области отрицательных значений (минус приложен к Al контакту), свидетельствует о возможном присутствии в слоях Al_2O_3 положительного заряда. Так как InAs подложка имеет исходно меньший уровень легирования ($n \sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $p \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$), то факт изменения степени легирования приповерхностной области можно связать с увеличением концентрации донорной примеси в процессе осаждения слоя Al_2O_3 . Однако при построении вольт – фарадных характеристик двухслойных структур Al – Al_2O_3 – In_2Te_3 – InAs (n –типа) и Al – Al_2O_3 – $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0,65$) – InAs (n –типа) в зависимостях наблюдается аналогичная картина. И говорить о возможности подлегирования только за счет слоя Al_2O_3 уже нельзя, но можно предположить появление факта увеличения концентрации донорной примеси за счет теллура из слоя In_2Te_3 (или $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$), так как в InAs теллур является донорной примесью, с энергией активации $\sim 0,03 \text{ эВ}$ [5].

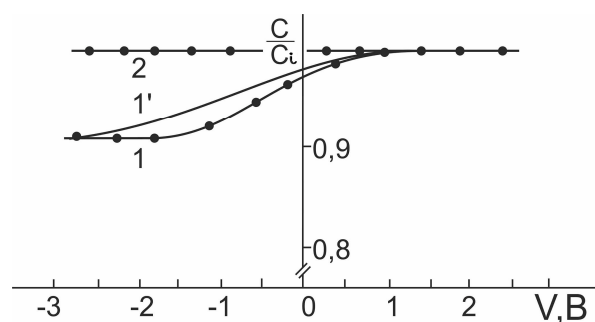


Рис. 1 Экспериментальные ВЧ характеристики гетероструктур: 1 – Al – Al_2O_3 – $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0,65$) – InAs (полученных методом напыления); 2 – Al – Al_2O_3 – In_2Te_3 – InAs (полученных методом ГВЗ); 1' – теоретическая зависимость построенная для электростатически эквивалентной МДД'П – структуры. Толщина слоя пленки теллурида $\sim 40 \text{ нм}$, $Al_2O_3 \sim 30 \text{ нм}$. Знак V по металлическому Al контакту.

Дальнейшее изучение гетероструктур позволило зарегистрировать управление поверхностным зарядом в InAs только с напыленными пленками In_2Te_3 и $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$ ($x \sim 0,65$). Модуляция ОПЗ в арсениде индия с пленками In_2Te_3 полученными в процессах ГВЗ не наблюдалась (рис. 1, кривая 2) [6, 7]. Изменение внешнего напряжения не приводит к изменению емкости гетероструктуры $\text{Al} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$, и на всем интервале значений напряжений остается постоянной. Такое поведение связано с высоким значением плотности макродефектов на границе раздела арсенида индия с In_2Te_3 [1], и, как следствие, большими значениями концентрации пограничных ЦЛЗ в этом случае. Так же, на процесс управления поверхностным зарядом, может отрицательно влиять широкая переходная область на границе раздела $\text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$ [8]. В целом же гетероструктуру $\text{Al} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{In}_2\text{Te}_3 - \text{InAs}$ можно рассматривать как систему с полным экранированием внешнего электрического поля в переходной области П' [9]. Из анализа рис.1 (кривые 1 – 1') можно сделать вывод, что в гетероструктурах $\text{Al} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$ ($x \sim 0,65$) – InAs полученных методом напыления, наблюдается повышенная крутизна экспериментальной ВЧ $C(V)$ характеристики по сравнению с теоретической, рассчитанной для электростатически эквивалентной МДД'П структуры. Этот наклон тоже может быть следствием участия свободных носителей заряда переходной области в частичном экранировании внешнего электрического поля.

Список литературы

1. Безрядин Н.Н., Михайлюк Е.А., Буданов А.В., Прокопова Т.В. Электрофизические свойства In_2Te_3 и $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$ в гетероструктурах на основе InAs // Вестник Воронежского государственного технического университета //Т.10, № 4, 2014 г.- С. 69-73.
2. Безрядин Н.Н., Михайлюк Е.А., Прокопова Т. В., Татохин Е. А. Проводимость пленок In_2Te_3 в гетероструктурах на основе арсенида индия.// Твердотельная электроника и микроэлектроника: Межвуз. сб.науч. тр. Воронеж. гос. тех. ун-т, 2005 г.- С. 4 – 9.
3. Безрядин Н.Н., Асессоров В.В., Сизов С.В., Михайлюк Е.А., Сыноров Ю.В., Кузьменко Т.А., Пахомов В.Н. Влияние металла контакта на поверхностные электронные состояния кремния в слоистой системе $\text{M} - \text{Ga}_2\text{Se}_3 - (\text{SiO}_x)\text{Si}$ // Известия вузов, Электроника // №2, 2006 г.- С. 18-25.
4. Миттов О.Н. Физико – химические процессы осаждения диэлектрических пленок при пиролизе элементоорганических соединений // Всесоюзная школа «Физ. – хим. основы электронного материаловедения». Тез. докл. Новосибирск, 1988 г. - С. 124.
5. Атомная диффузия в полупроводниках // Под ред. Д. Шоу: Пер. с англ. // М.: Мир, 1975 г. - С. 688.

6. Махний В.П. Механизм образования гетероструктур при твердофазном замещении на основе соединений $A^{II}B^{VI}$ // Изв. АН СССР. Неорганич. материалы. – 1991. – Т.27, № 3 .- С. 519 – 620.
7. Шлык Ю.К., Моргунов В.Н., Щевелева Г.М., Безрядин Н.Н., Кузьменко Т.А. Подготовка подложек InAs и получение гетероперехода $In_2Te_3 - InAs$ в квазизамкнутом объеме // Полупроводниковая электроника. Межвуз. сб. – Воронеж: Изд-во ВГПИ, 1985.- С. 5 – 11.
8. Сысоев Б. И. К вопросу об управлении поверхностным зарядом в полупроводниках с помощью тонких слоев широкозонных полупроводников / Б. И. Сысоев, В. Ф. Сыноров // ФТП- 1972.- Т. 6.- № 10.- С. 1856 – 1859.
9. Безрядин Н.Н., Кузьменко Т.А, Сизов С.В., Михайлюк Е.А., Сыноров Ю.В. Гетероструктуры $Me - Ga_2Se_3 - Si$ с эффектом поля // Материалы Международной научной конференции «Тонкие пленки и наноструктуры», (Пленки 2004) // М.:МИРЭА, Ч.1 С. 204-207.

УДК 51-77

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЛАТЕНТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ С НЕПРЕРЫВНЫМИ МНОЖЕСТВАМИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

С.И. Моисеев, Ю.В. Киреев, В.С. Кобелев

Воронежский ГАСУ

Аннотация. В работе предлагается метод оценки латентных переменных по модели Раша, позволяющий использовать непрерывные множества данных. Предлагаются оригинальные подходы применения метода в области организации групповых работ, при принятии решений и экспертном оценивании.

Ключевые слова: латентные переменные, модель Раша, задача о назначениях, принятие решений, экспертное оценивание.

MODEL OF THE LATENT VARIABLES ASSESSMENT WITH CONTINUOUS SETS OF BASIC DATA AND ITS APPENDICES

S.I. Moiseev, Y.V. Kireev, V.S. Kobelev

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Abstract. In work the method of an latent variables assessment on model Rusch, allowing to use continuous data sets is offered. Original approaches of a method application in the field of the

group works organization, at decision-making and expert estimation are considered.

Keywords: *latent variables, the Rusch model, assignment problem, decision-making, expert estimation.*

Многие системы и процессы в социальных, гуманитарных, образовательных и многих других областях науки описываются с помощью латентных (то есть скрытых, неявных) переменных. Математические методы измерения латентных переменных – направление в математическом моделировании достаточно новое и до конца не исследованное. А потребность в таких методах, несомненно, высокая. Возможность объективно и адекватно измерять латентные переменные позволит на математическом уровне оперировать с такими качественными категориями, как эффективность, уровень, степень, качество, и многими другими.

Существует несколько подходов к измерению латентных переменных. В начале XX века в психологии для оценки латентных параметров личности теории была разработана теория латентно-структурного анализа [1], которая позволяла на достаточно поверхностном уровне оценивать латентные показатели. Значительным прорывом в области измерения латентных переменных стало создание в 60-е годы датским математиком Георгом Рашем самосогласованной модели оценки латентных переменных, основанной на вероятностном подходе к оценкам переменных через измеряемые индикаторные переменные [2, 3].

Приведем ее основные положения, которые будут необходимы для построения модели, позволяющей оценивать латентные переменные с непрерывными множествами исходных данных.

Модель оценки латентных переменных

В основе классической модели Раша лежит логистическая функция, позволяющая найти вероятность того, что будет положительная оценка j -м субъектом i -го объекта, если эти субъекты и объекты оцениваются латентными переменными β и θ :

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} . \quad (1)$$

Эти оценки измеряются в некоторых безразмерных величинах, которые называются *логитами*, шкала измерения линейна. Однако, модель не лишена недостатков и ограничений. Главным недостатком классического Раш-анализа является ограниченность использования исходных данных.

Во всех подходах применения модели (а изначально она использовалась в образовании для оценки качества полученных знаний), исходные данные формируются в

результате тестов или опросов. Пусть имеются n объектов, которые оценивают m субъектов. На основании оценок измеряется некоторая латентная величина θ , характеризующая объекты с одной стороны, и сами тестируемые измеряются некоторой латентной величиной β , характеризующей отношения субъектов к объекту. Так, в классической модели Раша, субъектами были обучающиеся, их уровень знаний оценивался как β , а сложность тестовых заданий (объектов), характеризовался параметром θ . В классической дихотомической модели выборка x_{ij} исходных данных должна быть дискретной и обычно равна 1 (оценка объекта субъектом положительная) либо 0 (оценка отрицательная), то есть в модели Раша:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если тестируемый } i \text{ положительно оценил объект } j; \\ 0, & \text{если тестируемый } i \text{ отрицательно оценил объект } j. \end{cases} \quad (2)$$

С точки зрения математической модели Раш-анализа, это ограничение связано с тем, что ядром модели является метод максимального правдоподобия (МП-метод), согласно которому составляется функция правдоподобия, равная произведению вероятностей того, что теоретические вероятности ответов совпадают с эмпирическими.

Если отойти от применения модели в образовании, то потребность в непрерывных оценках объектов субъектами становится еще более существенной – критерии оценивания латентных показателей в большинстве случаев измеряются в процентах, долях, некоторых действительных величинах, и классическая модель Раша становятся неприемлемыми.

Авторами предлагается кардинально новый подход в расчете оценок логитов, согласно которому МП-метод заменяется методом наименьших квадратов (МНК): *параметры θ_i и β_j модели оценки латентных переменных выбираются так, чтобы сумма квадратов отклонений эмпирических данных x_{ij} от расчетных вероятностей p_{ij} была наименьшей.*

Задача сводится к минимизации остаточной суммы:

$$S(\theta_i, \beta_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - p_{ij})^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(x_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

В случае нормирования логитов и установки начала отсчета на средние значения логитов (что не обязательно, но принято в классической модели, возможно иное нормирование), целевая функция (3) дополняется системой ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \theta_i = 0; \\ \sum_{j=1}^n \beta_j = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Основное преимущество данной модели в том, что в качестве эмпирических данных в ней вместо (2) можно использовать непрерывное множество x_{ij} , имеющее смысл степени оценки i -м субъектом j -го объекта, элементы которого могут изменяться от 0 до 1. Данный подход позволит использовать модель для анализа многих латентных показателей, которые измеряются по непрерывным и дискретно - непрерывным оценочным шкалам.

Еще одно немаловажное преимущество заключается в том, что предлагаемый подход значительно расширяет инструментальные возможности решения задачи. Если в классической модели Раша, основанной на МП методе, для решения задачи на ЭВМ нужно использовать специализированное программное обеспечение, наиболее известным из которого является математический пакет RUMM (<http://www.rummlab.com>), то предлагаемая модель, основанная на МНК, представляет собой классическую задачу нелинейного программирования с целевой функцией (3) и ограничениями (4), численное решение которой, алгоритмически реализуется более простыми численными методами, и, как следствие, расчеты возможны с помощью доступных прикладных программ, например в MS Excel с использованием надстройки «Поиск решения» (Solver).

Представленная модель оценки латентных переменных имеет намного более широкий спектр применения, чем классическая модель Раша. Если брать тот же образовательный процесс, то теперь не требуется, чтобы обучающийся был обязан четко ответить или не ответить на тестовое задание, возможно частичное его выполнение. Рассмотрим некоторые направления применения модели в различных областях научных и практических исследований.

Применение модели в задачах о назначениях

Рассматривается некоторый комплекс работ (проект), который должна выполнить группа исполнителей. На первом этапе, как правило, происходит анализ возможностей исполнителей к выполнению той или иной работы, а затем по некоторой методике происходит назначение исполнителей на те или иные работы.

Обычно, проект содержит несколько работ, каждую работу может выполнить как один, так и несколько исполнителей. Рассмотрим три модели организации выполнения групповых заданий.

1) Формирование рабочих коллективов – когда группа исполнителей разбивается на подгруппы с различной степенью ответственности и внутри каждой подгруппы определяются роли участников.

2) Случай индивидуального выполнения группового задания – когда каждому исполнителю поручается только одна работа и каждую работу может выполнить только один участник.

3) Случай совместного выполнения работ группового задания – когда одну работу могут делать сразу несколько исполнителей и один исполнитель может в той или иной степени участвовать в нескольких работах.

Последние две модели похожи по своей сути – происходит индивидуальное назначение исполнителей на работы и разница лишь в том, что в одной модели участник может выполнять только одну работу, а во втором случае – несколько в определенных долях.

Модель формирования рабочих коллективов. Пусть число работ в проекте m , а число исполнителей в группе n .

На первом этапе выполняется опрос или тестирование, позволяющее предварительно оценить, может ли каждый исполнитель выполнить каждое задание. В простейшем случае это может быть опрос, где каждый участник ставит отметку о том, может ли он или не может уверенно выполнить каждую работу. В другом варианте это может быть тест из заданий, определяющий способности исполнителей выполнять работы.

В результате получаем матрицу:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й исполнитель может выполнить работу } j; \\ 0, & \text{если } i\text{-й исполнитель не может выполнить работу } j. \end{cases}$$

Данная матрица обрабатывается методами Раш-анализа оценки латентных переменных. В результате получаем оценки параметров θ_i – уровень возможностей i -ого исполнителя (в логитах), и β_j – трудность j -ого задания (в логитах). На основании полученных оценок можно найти вероятность p_{ij} правильного выполнения i -м тестируемым на j -й работы, которое определяется логистической функцией (1).

Эти оценки уже можно использовать для выявления сильных и слабых исполнителей и сложных и легких работ. Вероятности (1) показывают оценки возможностей исполнителей в выполнении конкретных работ, но не всего задания в целом, кроме этого нет оценки такого итогового показателя, как вероятность выполнения задания всей группой.

Авторами предлагаются оригинальные продолжения методики оценивания, устраняющие эти недостатки. В основе первой модели, позволяющей разделить группу участников на подгруппы с разной ответственностью и ролями, лежит модель, основанная на теории парных матричных игр [4-5].

Согласно модели, группа исполнителей играет роль игрока А, выигрыш которого (способность выполнить весь проект) максимизируется. В качестве платежной матрицы игры выступает матрица вероятностей p_{ij} (1). Одним из общих методов решения игровых задач, является приведение модели к задаче линейного программирования [5, 6]. Вводим некоторые переменные x_i , $i=1,2,\dots,n$, для которых составляется целевая функция и ограничения вида:

$$\sum_{i=1}^n x_i \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^n p_{ij} \geq 1, j = 1, 2, \dots, m; \quad (5)$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n.$$

Из решения (5) находим оптимальные значения переменных x_i^* , на основании которых определяем цену игры: $v = \frac{1}{\sum_{i=1}^n x_i^*}$ и вероятности стратегий в смешанной:

$$P_i = vx_i^*.$$

Данные вероятности можно интерпретировать как оптимальные доли участия исполнителей в общем задании или, по другому, как степень доверия участнику, его надежность. Однако следует заметить, что если игровые стратегии не активные и их вероятности равны нулю, это не означает, что исполнителю нельзя доверять совсем, просто в оптимальной стратегии ему стоит доверять наименее ответственные роли. Цена игры v имеет смысл вероятности всей группе выполнить все задание целиком.

Еще одно преимущество данного подхода заключается в следующем. Согласно теореме об активных стратегиях теории матричных игр [6], если один из игроков придерживается своей оптимальной смешанной стратегии, то выигрыш остается неизменным и равным цене игры v , если второй игрок не выходит за пределы своих активных стратегий. Перекладывая смысл теоремы на представленную модель, можно сделать вывод, что полученные результаты и вероятность выполнить все задание не будет зависеть от того, какие работы будут содержаться в задании, что позволяет использовать полученные оценки априори, еще не зная, какие работы будет содержать групповое задание.

Следует отметить, что данный подход позволяет разбить группу исполнителей на подгруппы. Из решения игровой задачи выделяется первая, самая ответственная группа, которой соответствуют активные стратегии игровой задачи, вероятности P_i которых отличны от нуля. Затем из оставшихся участников вновь составляется задача теории игр, решение которой позволяет выделить очередную активную группу, но уже с меньшей ответственностью и т.д. При большом количестве участников это позволяет создать иерархию малых групп, среди которых производится распределение ролей с разной ответственностью – руководители, контролеры, исполнители, помощники и т.д.

Модель индивидуального назначения исполнителей на работы, а именно, индивидуальное выполнение работ группового задания, каждую работу выполняет только один исполнитель и наоборот, каждый исполнитель выполняет только одну работу.

Рассмотрим случай, когда имеется n исполнителей, которым нужно выполнить n работ. При этом на одну работу назначается один исполнитель и один участник может выполнять только одну работу. Нужно так распределить исполнителей по работам, чтобы суммарная вероятность выполнения всего проекта была максимальна.

Из постановки задачи очевидно, что имеем типичную задачу о назначениях [5, 7]. На первом этапе получают Раш-оценки также, как и в предыдущем разделе. В качестве матрицы выигрышей с максимальной стоимостью будем использовать матрицу вероятностей (1), но она должна быть квадратной. Задачу аналитически обычно решают Венгерским методом [7], однако, как и в предыдущем пункте, приведем ее общее решение путем сведения к задаче линейного программирования.

Обозначим за y_{ij} матрицу назначений, которая определяется как:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й исполнитель будет выполнять задание } j; \\ 0, & \text{если } i\text{-й исполнитель не будет выполнять задание } j. \end{cases}$$

Тогда, математическая модель задачи будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} y_{ij} \rightarrow \max; \\ & \begin{cases} \sum_{i=1}^n y_{ij} = 1, & j = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, & i = 1, 2, \dots, n; \end{cases} \\ & y_{ij} \geq 0, \quad y_{ij} - \text{целое,} \\ & i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \tag{6}$$

Решение поставленной задачи будет давать оптимальное распределение исполнителей по работам группового задания. Оценку вероятности выполнения всего группового задания в этом случае также можно получить, но она будет зависеть от структуры задания. Известны вероятности выполнения каждой работы задания. Это значения матрицы вероятностей (1), соответствующие единицам матрицы назначений y_{ij} . На основании них вычисляется итоговая вероятность. Например, если срыв хотя бы одной работы ведет к невыполнению всего задания, то итоговая вероятность равна единица минус произведение вероятностей невыполнения работ. В простейшем случае можно в качестве оценки использовать среднее значение из вероятностей выполнения всех работ.

Модель совместного выполнения работ группового задания. Рассмотрим теперь общую ситуацию, когда каждый участник может выполнять каждую из работ (в той или иной доле) и каждую работу делают все исполнители (также в определенной доле). Эти доли можно рассчитать, используя подход решения *транспортной задачи* [6, 7], но с

максимизацией результата. Матрица y_{ij} вводится аналогично задаче о назначениях, но она не будет дискретной и ее значения будут иметь смысл доли участника i в работе с номером j . За исходные данные вновь берем матрицу вероятностей (1), полученную в результате решения (2) и (3). Математическая модель задачи для числа участников равного числу работ будет:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} y_{ij} \rightarrow \max; \\ & \begin{cases} \sum_{i=1}^n y_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n; \end{cases} \\ & y_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (7)$$

Как видно, модель (7) отличается от (6) отсутствием условия целочисленности переменных. Оптимальное значение целевой функции имеет смысл сумме вероятностей выполнения работ для всех исполнителей. Разделив ее на число исполнителей, получим оценку средней вероятности выполнения задания.

Следует отметить, что число исполнителей и работ в данной модели не обязательно должны быть равными. В случае тогда модель будет основываться на открытой транспортной задаче [6] и в основных ограничениях модели (7) равенства будут изменены на неравенства.

Применение модели в теории принятия решений

Рассмотрим оригинальный подход к принятию решений в условиях определенности, основанный на теории оценки латентных переменных. Предпосылкой применения такого подхода послужил тот факт, что совокупные показатели привлекательности альтернатив, какими являются функции полезности, являются латентными переменными и к их измерению применимы модели оценок латентных переменных.

Рассмотрим простейший случай: принятие решений в условиях определенности [5] без учета весов критериев (то есть важности критериев считаются равными). Пусть ЛПР (лицо, принимающее решение) имеет N альтернатив A_1, A_2, \dots, A_N и L критериев K_1, K_2, \dots, K_L . Обозначим U_{ij} - оценку i -й альтернативы по j -му критерию. Эти оценки могут быть разной природы и иметь различную размерность. Для приведения оценок к единой шкале проводят процедуру нормализации [5], в результате которой все нормализованные оценки альтернатив по критериям u_{ij} примут значения из интервала от 0 до 1. Взяв в качестве исходных данных модели оценки латентных переменных эти оценки, находим показатели θ_i и β_j , которые

имеют смысл: θ_i - оценки привлекательности альтернатив, β_j - смысл степени выполнимости критериев. Согласно положениям модели Раша, такая модель оценивания альтернатив в случае принятия решений в условиях определенности имеет следующие преимущества по сравнению с классической:

1. Кроме оценок привлекательности альтернатив, метод позволяет получить оценки выполнимости критериев.

2. Оценки измеряются по линейной шкале.

3. Оценки привлекательности альтернатив являются их уникальными свойствами и не зависят от оценочных критериев.

Рассмотрим теперь возможность учета весов критериев. Обозначим w_j – вес j -го критерия. Будем считать, что вес измеряется по шкале от 0 до 1 и, чем больше вес, тем большую важность для ЛПР имеет критерий и больший вклад в показатели привлекательности альтернатив он должен давать. Возможны три подхода к учету весов.

Подход 1. Умножаем оценки альтернатив по критериям u_{ij} на их веса w_j , и для расчета целевой функции (3) используем $x_{ij} = \tilde{u}_{ij} = u_{ij} w_j$.

Подход 2. При минимизации остаточной суммы, каждое слагаемое (3) будет учитываться пропорционально соответствующему ему весу. В результате, решается оптимизационная задача вида:

$$S(\theta_i, \beta_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_j \cdot (u_{ij} - P_{ij})^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_j \cdot \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min .$$

Подход 3. Как было сказано выше, параметры β_j имеют смысл степени выполнимости критериев. Если зафиксировать эти параметры, задав их равными весам, получим задачу нахождения привлекательностей альтернатив θ_i с учетом степени выполнимости критериев: чем выше важность критерия, тем больше должна быть степень его выполнимости. Математическая модель оптимизационной задачи будет в этом случае иметь вид:

$$S(\theta_i) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - w_j}}{1 + e^{\theta_i - w_j}} \right)^2 \rightarrow \min.$$

В заключении следует отметить то, что авторами были проанализированы результаты расчетов параметров θ для большого числа матриц с различными исходными данными и проведено сравнение результатов с функциями полезности, полученными классическими методами принятия решений в условиях определенности. Приведенная в работе методика позволяет получить оценки, которые, с одной стороны хорошо согласуются с классическими оценками, но, с другой стороны, являются более гибкими, позволяющими принимать

однозначное решение в ситуациях, когда классические подходы его не дают, и являются более устойчивыми к малым изменениям исходных данных.

Применение модели в экспертном оценивании

В теории принятия решений, аналитическом планировании, экспертном оценивании одной из важнейших задач является количественная оценка качественных показателей. Для этого чаще всего используют два метода: метод оценивания группой экспертов и метод парных сравнений. Рассмотрим возможности применения модели оценки латентных переменных для этих методов.

Оценивание группой экспертов. Пусть имеется n альтернатив A_1, A_2, \dots, A_n , которые оцениваются по некоторому критерию с помощью m экспертов. Пусть x_{ij} имеет смысл степени привлекательности альтернативы A_i для j -го эксперта. В качестве латентных переменных будем использовать θ_i – степень привлекательности i -ой альтернативы в логитах, и β_j – некоторый показатель, характеризующий «лояльность» j -того эксперта в логитах (чем меньше показатель β , тем более требовательным является эксперт к оценкам альтернатив). В такой модели вероятность p_{ij} того, что j -й эксперт положительно оценил i -ю альтернативу определяется логистической функцией (1), а задача оптимизации имеет вид (3). Количественной характеристикой качественного показателя будет оценка θ_i , которую при необходимости можно нормировать.

Оценивание методом парных сравнений. Если оценку производит один эксперт или ЛПР, то для решения задачи применяют методы парных сравнений [5], в частности метод аналитической иерархии (Analytic Hierarchy Process – АНР), разработанный Т. Саати [8], и его модификацию – мультипликативный АНР [9]. Данные методы основаны на попарном сравнении альтернатив при помощи вербальной шкалы относительной важности. Результаты сравнения переводятся в некоторые количественные показатели привлекательности альтернатив в соответствии с заданной шкалой. Однако, эти методы имеют ряд недостатков, наиболее существенными из которых являются:

1. Шкала относительной важности достаточно абстрактна и субъективна, а ее числовые значения не несут четкого смысла.
2. Полученные оценки важности альтернатив не линейны, то есть если одна альтернатива в несколько раз лучше другой, то ее оценка не обязательно больше в это же число раз.
3. Оценки важности альтернатив зависимы от других альтернатив и не являются уникальными характеристиками оцениваемых показателей.

Для устранения перечисленных недостатков, авторами предлагается оригинальная модель оценок многокритериальных альтернатив, основанная на описанной модели оценки латентных переменных.

Пусть имеется n альтернатив, которые нужно оценить по количественной шкале по некоторому качественному критерию. Предположим, что лицо, принимающее решение (ЛПР) путем парных сравнений пытается определить эту оценку. В классическом подходе находятся степени превосходства альтернатив, и вектор предпочтений для данного критерия

будет равен $X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}$, где x_{ij} - степень превосходства альтернативы A_i по сравнению с альтернативой A_j .

Рассмотрим теперь подход, основанный на модели оценки латентных переменных. Согласно ему, вероятность P_{ij} выбора альтернативы A_i по сравнению с альтернативой A_j можно определить как:

$$P_{ij} = \frac{e^{\beta_i - \beta_j}}{1 + e^{\beta_i - \beta_j}}. \quad (8)$$

Для применения (8) на практике необходимо найти оценки β_i на основании известных вероятностей P_{ij} предпочтения альтернатив, которые получены эмпирически с помощью экспертного сравнения предпочтений ЛПР. Обозначим p'_{ij} – вероятность того, что ЛПР выберет альтернативу A_i против альтернативы A_j . Взяв эти вероятности в качестве исходных данных для модели оценки латентных переменных, получим задачу оптимизации:

$$S(\beta_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (p'_{ij} - P_{ij})^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(p'_{ij} - \frac{e^{\beta_i - \beta_j}}{1 + e^{\beta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (9)$$

Ввиду того, что параметры β_i входят в (8) и (9) в виде разности, то решение задачи (9) при этом будет найдено с точностью до неопределенной константы C : если β_i полученные оптимальные оценки, то и $(\beta_i + C)$ – также оптимальные оценки. Для однозначного решения задачи на оценки β_i можно наложить одно дополнительное условие. Если использовать положительную шкалу оценок, то в качестве такого условия может быть равенство наименьшей оценки β_i нулю:

$$\min_i \beta_i = 0. \quad (10)$$

После того, как найдены оценки привлекательности альтернатив, можно рассчитать их веса w_i для данного критерия путем нормализации β_i . Если использовать условие (10), то

нормализацию на единичную шкалу можно провести по формулам: $w_i = \frac{\beta_i}{\max_i \beta_i}$ или

$$w_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i}.$$

Вернемся к вопросу нахождения эмпирических вероятностей p_{ij} . Согласно методу АНР существует шкала предпочтений [8], которую для вероятностного подхода можно задать табл. 1. Однако, данные вероятности можно получать и из других соображений, например на основании эмпирических данных, используя статистику выбора одной альтернативы против другой. Если имеется превосходство второй альтернативы перед первой, то ее вероятность будет обратной, и она получается вычитанием из единицы: $p_{ij} = 1 - p_{ji}$, $p_{ii} = 0,5$.

Таблица 1

Шкала относительной важности парного сравнения альтернатив

Уровень важности 1-й альтернативы перед 2-й	Вероятность p_{ij}
<i>Равная важность</i>	0,5
<i>Умеренное превосходство</i>	0,6
<i>Существенное превосходство</i>	0,7
<i>Значительное, большое превосходство</i>	0,8
<i>Очень большое превосходство</i>	0,9
<i>Однозначное предпочтение</i>	1

Описанная методика позволяет проводить оценки альтернатив по одному критерию. Однако большинство задач принятия решений являются многокритериальными. Для выбора оптимальной альтернативы в этом случае по описанной методике находятся оценки привлекательности альтернатив w_i^k для каждого k -го критерия, и веса (степени важности для ЛПР) самих критериев W^k . Затем находятся функции полезности [5] для каждой альтернативы: $F_i = \sum_k w_i^k W^k$, и принимается альтернатива, у которой функция полезности максимальная.

Описанный метод в большей степени устраняет недостатки, описанные ранее: оценки альтернатив являются уникальными их свойствами, не зависящими от альтернативы, и измеряются по линейной шкале.

В заключении следует сказать, что на основании представленных моделей могут быть

разработаны новые подходы для оценки латентных показателей в области экономики и менеджмента, оценки качества, эффективности, принятия решений, планировании и управлении проектами и других областях теоретических и практических исследований.

Список литературы

1. Гибсон У. Факторный, латентно-структурный и латентно-профильный анализ // Математические методы в социальных науках / Под ред. П. Разальсфельда, Н. Генри; Пер. с англ. М.: Прогресс, 1997.- С. 9-41
2. Rasch G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch.- Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960.
3. Rasch Models. Foundations, Recent Developments and Applications. Editors Fischer G. H., Molenaar I.W. Springer, 1997.-437 p.
4. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970.- 708 с.
5. Малыхин В.И., Моисеев С.И. Математические методы принятия решений: учебное пособие. - Воронеж: ВФ МГЭИ, 2009.- 102 с.
6. Исследование операций в экономике. Под ред. Н.Ш. Кремера. М., "Юнити", 1999.
7. Афанасьев М.Ю., Суворов Б.П.. Исследование операций в конкретных ситуациях. Изд-во МГУ, 1999.- 87 с.
8. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем.- М.: Радиоисвязь, 1991. – 224 с.
9. Прикладные модели в управлении организационными системами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, В.В. Соколовский, Н.А. Шульженко – Тула, 2002
10. Lootsma F.A., Schuijt H. The multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a common context. - J. Multi-Criteria Decision Analysis. V.6, 1997.

УДК 330.115

ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВЫ, ОСНОВАННЫЙ НА ПОДХОДЕ МЕТОДА РАША

С.И. Моисеев, В.С. Кобелев, А.Ю. Зенин

Воронежский ГАСУ

Аннотация. Предлагается оригинальная модель принятия решений в условиях определенности, основанная на подходе метода Раша оценки латентных переменных. Описана методика реализации модели в MS Excel. Проанализированы подходы учета

важности критериев. Проведен сравнительный анализ с классическими методами принятия решений.

Ключевые слова: латентные переменные; методы принятия решений

APPLICATION OF THE THEORY OF MEASUREMENT LATENT VARIABLES TO THE CHOICE OF THE BEST ALTERNATIVE WHEN MAKING A DECISION

S.I. Moiseev, V.S. Kobelev, A.Yu. Zenin

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Abstract. The paper proposes an original model of decision making under certainty, based on the approach of the method of Rush assessment of latent variables. Describes the method of implementation of the model in MS Excel. Approaches Given the importance of the criteria. A comparative analysis with the classical methods of decision-making.

Keywords: latent variables; decision-making

Искусство принятия наилучших решений, основанное на опыте и интуиции, является сущностью любой сферы человеческой деятельности. Наука о выборе приемлемого варианта решения сложилась сравнительно недавно, а математической теории принятия решений - около 50 лет. Основы теории принятия решений разработаны Джоном фон Нейманом и Отто Morgenштерном. По мере усложнения задач появилось много различных направлений этой науки, которые имеют дело с одной и той же проблемой анализа возможных способов действия с целью нахождения оптимального в данных условиях решения проблемы.

Одним из направлений теории принятия решений является модель, в которой известны все оценки возможных альтернатив по различным критериям и оценены важности критериев. Модели принятия решений в такой ситуации получили название принятие решений в условиях определенности. Существует несколько подходов к решению подобных задач [1-3], традиционно используются критериальный анализ, линейное и нелинейное программирование, каждый отличается определенными преимуществами и недостатками, но все они основаны на методах расчета некоторой функции полезности для каждой альтернативы, и из сравнения этих функций выбирается наилучшая альтернатива.

В данной работе авторами предлагается оригинальный подход к принятию решений в условиях определенности, основанный на теории оценки латентных переменных. Предпосылкой применения такого подхода послужил тот факт, что совокупные показатели привлекательности альтернатив, какими являются функции полезности, являются

латентными переменными и к их измерению применимы модели оценок латентных переменных.

Рассмотрим математическую модель задачи.

Пусть ЛПР (лицо, принимающее решение) имеет N альтернатив A_1, A_2, \dots, A_N и L критериев K_1, K_2, \dots, K_L . Обозначим U_{ij} оценку i -й альтернативы по j -му критерию. Эти оценки могут быть разной природы и иметь различную размерность. Для приведения оценок к единой шкале проводят процедуру нормализации [1, 3], в результате которой все нормализованные оценки альтернатив по критериям u_{ij} примут значения из интервала $(0;1)$.

Предположим, что ЛПР устраивает n -я альтернатива по j -му критерию на уровне u_{nj} (в результате нормализации этот показатель принимает значения от 0 до 1). Тогда простейшим образом показатель привлекательности этой альтернативы можно оценить как $X_n = \sum_{j=1}^L x_{nj}$.

Далее будем использовать вероятностный подход. Рассмотрим возможный выбор ЛПР альтернатив n и m . Обозначим P_{nj} вероятность или меру того, что n -я альтернатива устраивает ЛПР по j -му критерию. Понятие «устраивает» надо понимать не как то, что ЛПР выберет именно эту альтернативу, но есть возможность ее выбора, то есть она приемлема. Таким образом, вероятность того, что эта же альтернатива не устраивает ЛПР, равна $(1-P_{nj})$. Для m -й альтернативы примем аналогичные обозначения.

Обозначим: N_{11} – число критериев, по которым ЛПР устраивают обе альтернативы; N_{10} – число критериев, по которым устраивает только m -я альтернатива; N_{01} – число критериев, по которым устраивает n -я альтернатива; N_{00} – число критериев, по которым не устраивают обе альтернативы.

С точки зрения сравнения указанных двух альтернатив информативными можно считать только показатели N_{10} и N_{01} . В свою очередь показатели N_{11} и N_{00} не дают представления о том, у какой из альтернативы показатели предпочтения выше. При этом параметр N_{10} , отражающий степень предпочтения альтернативы A_m , согласно теореме умножения вероятностей, будет прямо пропорционален произведению вероятностей $P_{mj}(1-P_{nj})$. Аналогично параметр N_{01} прямо пропорционален произведению вероятностей $(1-P_{mj})P_{nj}$. Таким образом, было получено выражение, определяющее отношение параметров N_{10} к N_{01} :

$$\frac{N_{10}}{N_{01}} \sim \frac{P_{mj}(1-P_{nj})}{P_{nj}(1-P_{mj})} . \quad (1)$$

Если взять бесконечное число критериев L , то оно поможет определить разницу в уровне оценок альтернатив n и m . Из-за того, что не было наложено никаких условий на

критерий, полученное выражение не зависит от важности самих критериев. При рассмотрении другой альтернативы с номером k будет получено аналогичное выражение. При этом соотношения оценок альтернатив останутся неизменным. Из этого следует, что для критериев k и j можно записать:

$$\frac{P_{mj}(1-P_{nj})}{P_{nj}(1-P_{mj})} = \frac{P_{mk}(1-P_{nk})}{P_{nk}(1-P_{mk})}. \quad (2)$$

В свою очередь, из этого выражения можно записать следующее:

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = \frac{P_{nk}}{1-P_{nk}} \cdot \frac{1-P_{mk}}{P_{mk}} \cdot \frac{P_{mj}}{1-P_{mj}}. \quad (3)$$

Для использования вышеописанного метода на практике необходимо, чтобы результаты сравнения уровня альтернатив n и m были объективны. А для этого нужно, чтобы для любых критериев было справедливо соотношение любого набора альтернатив k и j . С целью обеспечения выполнения этого требования в качестве исходных точек для проведения сравнительного анализа были приняты степень оценки некоторой альтернативы с индексом 0 и некоторого критерия с индексом 0. Помимо этого необходима единая шкала измерения, объединяющая в себе уровень привлекательности альтернатив и уровень важностей критериев, при этом за точку отсчета в ней удобно принять эти показатели с индексом 0 и считать их эквивалентными. Таким образом, значение параметра P_{00} будет равно 0,5. Применяя это, получили выражение

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} \cdot \frac{1-P_{00}}{P_{00}} \cdot \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} \cdot \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}}. \quad (4)$$

Необходимо отметить, в выражении (4) величина $\left(\frac{P_{n0}}{1-P_{n0}}\right) = d_n$ – это показатель

привлекательности n -й альтернативы, являющийся его уникальным

показателем, $\frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \frac{1}{b_j}$ – величина, обратная степени выполнимости, важности для j -го

критерия, являющаяся уникальным свойством этой альтернативы. Таким образом, получаем:

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = \frac{d_n}{b_j}. \quad (5)$$

Исходя из этого, можно вычислить вероятность или степень того, что j -я альтернатива устраивает ЛПР по n -му критерию. Эта вероятность будет определяться соотношением уровня привлекательности альтернативы к степени важности, выполнимости критерия.

Используя записанное выше уравнение (5) и прологарифмировав его части, получим:

$$\ln \frac{P_{nj}}{(1-P_{nj})} = \ln \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} + \ln \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \ln(d_n) - \ln(b_j).$$

Обозначая $\ln d_n = \ln \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} = \theta$, а $\ln \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \ln b_j = \beta_j$ получим:

$$\ln \frac{P_{nj}}{(1-P_{nj})} = \theta_n - \beta_j,$$

что аналогично

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = e^{\theta_n - \beta_j}.$$

Исходя из этого, переименовав для удобства индексы, можно вычислить вероятность P_{ij} :

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}. \quad (6)$$

Эти вероятности можно интерпретировать как нормализованные оценки альтернатив по критериям u_{ij} .

Полученное выражение аналогично формуле Г. Раша, полученное им при оценке латентных переменных [4].

Для применения (6) на практике необходимо найти оценки привлекательности альтернатив θ_i и степени выполнения критериев β_j на основании известных оценок альтернатив по критериям u_{ij} , которые получены эмпирически с помощью экспертного оценивания ЛПР.

Если рассмотреть модель Раша оценки латентных переменных [4], то согласно ей оценки θ_i и β_j находятся методом максимального правдоподобия (МП-метод) [5]. Однако в дихотомической модели Раша вероятности P_{ij} могут принимать лишь два значения – 0 или 1, что не соответствует представленной в работе модели, когда вероятности P_{ij} могут принимать значения из непрерывного спектра от 0 до 1. В силу этого автором предлагается использовать для этих целей метод наименьших квадратов [5]: *параметры θ_i и β_j модели (6) выбираются так, чтобы сумма квадратов отклонений эмпирических данных u_{ij} от расчетных вероятностей (6) была наименьшей* [6,7]. Математически это сводится к минимизации остаточной суммы:

$$S(\theta_i, \beta_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (u_{ij} - P_{ij})^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Оценки θ_i и β_j , полученные по данной модели, будут измеряться по линейным шкалам, и начало отсчета в них будет неопределенным. Нулевой отсчет шкал можно выбрать

так, чтобы средние значения обеих оценок равнялись нулю (как это делается в Раш-анализе). Тогда условие (7) будет дополняться условием нормировки:

$$\sum_i \theta_i = 0; \sum_j \beta_j = 0. \quad (8)$$

Можно использовать иные нормировочные условия: неотрицательности оценок, нормирование на единичную шкалу и т.д.

Решение задачи оптимизации (7) и (8) можно проводить с использованием надстройки «Поиск решений» MS Excel [6,7]. Покажем это на примере.

Пример. Имеется 7 альтернатив, которые оцениваются по 8 критериям. В результате экспертного оценивания получены нормализованные оценки альтернатив по критериям, которые представлены в табл. 1. Найдем оценки показателей привлекательности альтернатив и выполнимости критериев.

Таблица 1

Нормализованные оценки альтернатив по критериям

Альтернатива	Критерий							
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
A ₁	0,21	0,60	0,20	0,62	0,47	0,82	0,12	0,48
A ₂	0,23	0,75	0,82	0,68	0,29	0,12	0,77	0,09
A ₃	0,62	0,01	0,71	0,33	0,87	0,36	0,10	0,59
A ₄	0,22	0,52	0,83	0,12	0,35	0,23	0,16	0,46
A ₅	0,36	0,02	0,90	0,54	0,49	0,30	0,41	0,72
A ₆	0,31	0,16	0,08	0,89	0,31	0,86	0,63	0,64
A ₇	0,39	0,55	0,65	0,52	0,00	0,13	0,46	0,37

Решаем задачу в MS Excel. В область ячеек A1-I8 вводим исходные данные в соответствии с табл. 1. Под значения оценок параметра θ_i выделяем ячейки A12-A18, под оценки β_j выделяем ячейки B11-I11. Вводим в эти ячейки произвольные числа, например единицы. Для расчета вероятностей (6) вводим в B12 формулу **=EXP(\$A12-B\$11)/(1+EXP(\$A12-B\$11))** и с помощью авто заполнения распространяем ее на ячейки B12-I18. Рассчитываем критерий (7). Вводим в B20 формулу **=(B2-B12)^2** и с помощью авто заполнения распространяем ее на ячейки B20-I26. Значение критерия будет в ячейки B28 в виде формулы **=СУММ(B20:I26)**. Нормализацию (8) проводить не будем, но потребуем неотрицательности оценок.

Вызываем надстройку Excel «Поиск решения» (Solver). Указываем в поле оптимизации целевой функции ссылку на B28, ставим переключатель оптимизации на

«минимум», в поле «Изменяя ячейки переменных» делаем ссылку на A12-A18 и B11-I11. Для нормализации оценок на положительные значения ставим флажок напротив «Сделать переменные без ограничений неотрицательными». Запускаем надстройку, получаем результат, указанный на рис. 1. Значения оценок параметров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценки параметров θ_i и β_j , рассчитанные по данным из примера 1

Параметр θ	0,88	0,98	0,90	0,53	0,99	1,09	0,63	
Параметр β	1,56	1,43	0,43	0,75	1,28	1,25	1,34	0,95

Оценки, полученные по описанному в работе методу, обладают следующими преимуществами по сравнению с полученными классическими методами принятия решений в условиях определенности:

1. Кроме оценок привлекательности альтернатив, метод позволяет получить оценки выполнимости критериев, характеризующих, насколько альтернативы в своей совокупности удовлетворяют каждому критерию. Чем выше данный показатель, тем больше совокупная оценка критерия по всему множеству альтернатив.
2. Оценки измеряются по линейной шкале.
3. Оценки привлекательности альтернатив являются их уникальными свойствами и не зависят от оценочных критериев.
4. Полученные оценки более гибкие, т.к. учитывают показатель выполнимости критериев.

Представленная модель предполагает, что все критерии имеют одинаковую важность для ЛПР. Однако в реальных ситуациях при принятии решений важность критериев, как правило, различная и ее нужно учитывать при оценке привлекательности альтернатив. Классические модели принятия решений в условиях определенности учитывают важность критериев для ЛПР путем введения показателей веса каждого критерия. Рассмотрим подходы учета весов критериев для представленной модели.

Обозначим w_j вес j -го критерия. Будем считать, что вес измеряется по шкале от 0 до 1 и чем больше вес, тем большую важность для ЛПР имеет критерий и больший вклад в показатели привлекательности альтернатив он должен давать. Возможны три подхода к учету весов.

Подход 1. Умножаем оценки альтернатив по критериям u_{ij} на их веса w_j , и для расчета целевой функции (7) используем $\tilde{u}_{ij} = u_{ij} \cdot w_j$.

Подход 2. При минимизации остаточной суммы каждое слагаемое (7) будет учитываться пропорционально соответствующему ему весу. В результате решается оптимизационная задача вида

$$S(\theta_i, \beta_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_j \cdot (u_{ij} - P_{ij})^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_j \cdot \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min.$$

Подход 3. Как было сказано выше, параметры β_j имеют смысл степени выполнимости критериев. Если зафиксировать эти параметры, задав их равными весам, получим задачу нахождения привлекательностей альтернатив θ_i с учетом степени выполнимости критериев: чем выше важность критерия, тем больше должна быть степень его выполнимости. Математическая модель оптимизационной задачи будет в этом случае иметь вид

$$S(\theta_i) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - w_j}}{1 + e^{\theta_i - w_j}} \right)^2 \rightarrow \min.$$

Расчеты, проведенные по всем трем подходам, показали высокую корреляцию полученных результатов. Так, например, если для данных из примера взять веса критериев в соответствии с табл. 3, то полученные оценки привлекательности альтернатив θ_i , рассчитанные по трем описанным выше подходам, приведены на рис. 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
2	A1	0,21	0,60	0,20	0,62	0,47	0,82	0,12	0,48
3	A2	0,23	0,75	0,82	0,68	0,29	0,12	0,77	0,09
4	A3	0,62	0,01	0,71	0,33	0,87	0,36	0,10	0,59
5	A4	0,22	0,52	0,83	0,12	0,35	0,23	0,16	0,46
6	A5	0,36	0,02	0,90	0,54	0,49	0,30	0,41	0,72
7	A6	0,31	0,16	0,08	0,89	0,31	0,86	0,63	0,64
8	A7	0,39	0,55	0,65	0,52	0,00	0,13	0,46	0,37
9									
10									
11	$\theta \backslash \beta$	1,56	1,43	0,43	0,75	1,28	1,25	1,34	0,95
12	0,88	0,34	0,37	0,61	0,53	0,40	0,41	0,39	0,48
13	0,98	0,36	0,39	0,63	0,56	0,43	0,43	0,41	0,51
14	0,90	0,34	0,37	0,61	0,54	0,41	0,41	0,39	0,49
15	0,53	0,26	0,29	0,53	0,45	0,32	0,33	0,31	0,40
16	0,99	0,36	0,39	0,64	0,56	0,43	0,44	0,41	0,51
17	1,09	0,39	0,42	0,66	0,59	0,45	0,46	0,44	0,54
18	0,63	0,28	0,31	0,55	0,47	0,34	0,35	0,33	0,42

Рис. 1. Результаты расчета в MS Excel

Таблица 3

Веса критериев w_j для примера 1

Критерий	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
----------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Вес w_j	0,61	0,30	0,24	0,82	0,52	0,69	0,41	0,38
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------

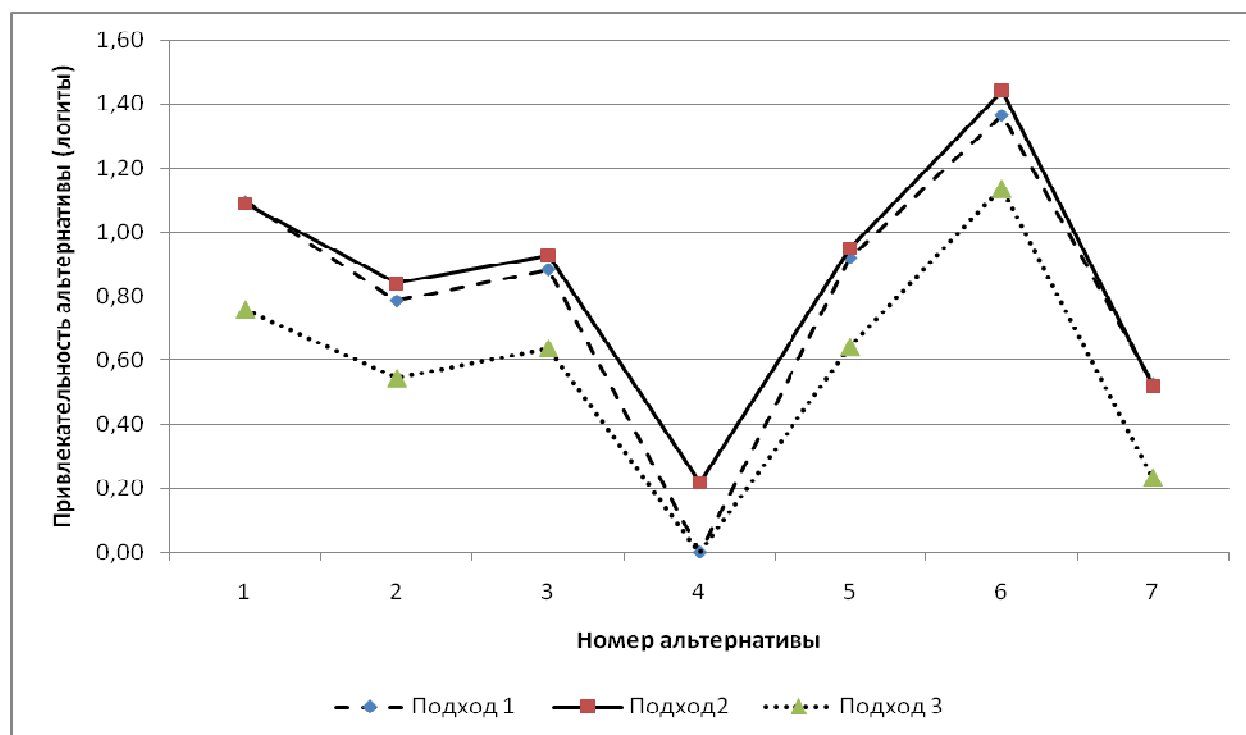


Рис. 2. Оценки привлекательности альтернатив θ_i , рассчитанные по трем подходам

В заключение следует отметить то, что авторами были проанализированы результаты расчетов параметров θ для большого числа матриц с различными исходными данными и проведено сравнение результатов с функциями полезности, полученными классическими методами принятия решений в условиях определенности [1-3]. Приведенная в работе методика позволяет получить оценки, которые, с одной стороны, хорошо согласуются с классическими оценками, но, с другой стороны, являются более гибкими, позволяющими принимать однозначное решение в ситуациях, когда классические подходы его не дают, и более устойчивые к малым изменениям исходных данных.

Список литературы

1. Ларичев О.И. *Теория и методы принятия решений* / О.И. Ларичев. - М.: Логос, 2002.
2. Райфа Г. *Анализ решений* / Г. Райфа. - М.: Наука, 1977.
3. Малыхин В.И. *Математические методы принятия решений: учебное пособие* / В.И. Малыхин, С.И. Моисеев. - Воронеж: ВФ МГЭИ, 2009. - 102 с.
4. Rasch G. *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests* / G. Rasch. - Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960. - 160 p.

5.Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2006.

6.Математические модели подготовки и проверки качества освоения компетенций в образовательном процессе / С.А. Баркалов [и др.]. – Открытое образование, № 2, 2014.- С. 9-16

7.Баркалов С.А. Применение метода наименьших квадратов при оценке латентных переменных методом Раша / С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, Е.В. Соловьева. // Научный вестник Воронежского ГАСУ, сер. «Управление строительством», выпуск № 1 (б), Воронеж, 2014, С. 98-100

8.Оптимизационные модели и методы в управлении строительным производством / С.А. Баркалов [и др.]. – Воронеж, 2007.

УДК 621.31:621.372.542

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

А. В. Молодых

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
young_al@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы электромагнитной совместимости, возникающие при эксплуатации частотно-регулируемого привода и подход к их решению.

Ключевые слова: электропривод, электромагнитная совместимость, частотное регулирование, широтно-импульсная модуляция, фильтр.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN VARIABLE FREQUENCY ELECTRIC DRIVES

A. V. Molodykh

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISIS", Stary Oskol
young_al@mail.ru

Abstract. The problem of electromagnetic compatibility of variable frequency drive is considered and the method to solve it is offered.

Keywords: *electric drive, electromagnetic compatibility, frequency regulation, pulse-width modulation, filter.*

В настоящее время частотно-регулируемый асинхронный привод получил широкое распространение в различных отраслях промышленности, в том числе горнодобывающей и металлургической. Характерной особенностью систем распределения электроэнергии в данных отраслях является значительная длина питающих и распределительных электрических сетей, обусловленная расщеплением производственного оборудования по большой площади. В таких условиях длины кабелей, соединяющих источники электроэнергии с отдельными её потребителями, достигают нескольких сотен метров, а иногда и более.

подавляющее большинство современных преобразователей частоты (ПЧ), выпускаемых как зарубежными, так и отечественными производителями, структурно представляют собой автономный инвертор напряжения, на выходе которого формируется напряжение квазисинусоидальной формы методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Сложность процессов, протекающих в силовом канале частотно-регулируемого электропривода, диктует повышенные требования к его электромагнитной совместимости (ЭМС) с другим электрооборудованием, расположенным поблизости. В частности, одним из недостатков частотно-регулируемого привода, особенно при наличии кабелей значительной длины, соединяющих преобразователи частоты с двигателями, является то, что он является достаточно мощным источником электромагнитных помех, которые могут негативно влиять как на саму систему электропривода, так и на расположенное вблизи неё оборудование.

Для определения характера помех, возникающих в кабелях, а также факторов, влияющих на их возникновение и параметры, был проведён эксперимент, в ходе которого осциллографировались напряжения на выходных зажимах ПЧ, а также зажимах двигателя, подключённого к преобразователю кабелем длиной 150 м.

На рис. 1 представлена осциллограмма напряжения на выходных зажимах ПЧ.

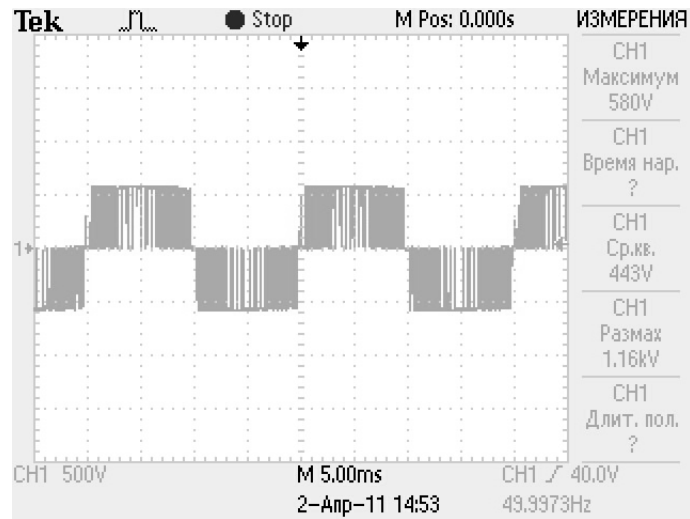


Рис. 1. Осциллограмма напряжения на выводах преобразователя частоты

Видно, что выходное напряжение ПЧ представляет собой прямоугольные импульсы, следующие с высокой частотой (в данном опыте 16 кГц), при этом амплитуда импульсов превышает уровень амплитуды модулируемой синусоиды ($\sqrt{2} \cdot 380 \approx 537 \text{ В}$) не более, чем на 10 %.

На рис. 2 представлена осциллограмма напряжения на выводах двигателя, подключённого к ПЧ кабелем длиной 150 м. Осциллограмма показывает наличие существенных по величине импульсов напряжения, амплитуда которых составляет 1060 В. Превышение амплитуды напряжения над её нормальным значением при этом равно

$$\frac{1060}{\sqrt{2} \cdot 380} \approx 2,0.$$

Воздействие перенапряжений двукратной величины оказывает негативное влияние на изоляцию как обмоток двигателя, так и кабеля, что приводит к её преждевременному износу, который, в свою очередь, может привести к пробое изоляции и возникновению аварий.

Причиной появления рассмотренных перенапряжений является сложный переходный процесс, носящий колебательный характер, возникающий из-за наличия распределённых индуктивности и ёмкости кабеля и возбуждаемый импульсами напряжения различной полярности с фронтами короткой длительности (для инверторов, выполненных на базе IGBT транзисторов, длительность фронтов составляет доли микросекунд). На рис. 3 приведена осциллограмма напряжения на зажимах двигателя, снятая в увеличенном масштабе по временной оси, из которой видно, что частота колебаний напряжения составляет около 300 кГц.

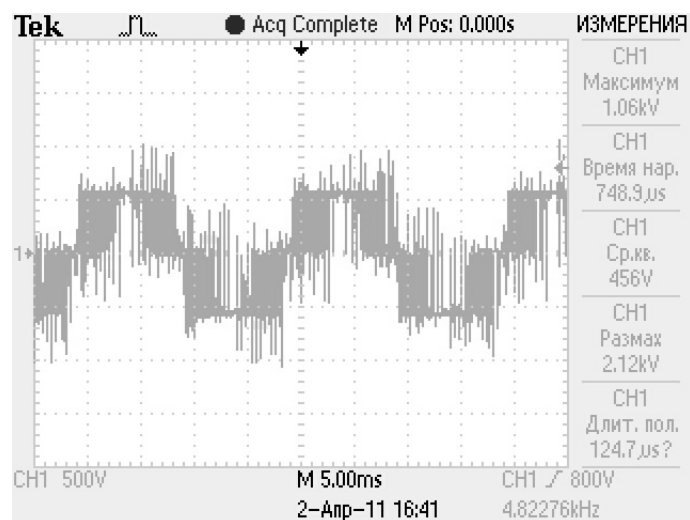


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на зажимах двигателя

Наличие таких высокочастотных составляющих в спектре питающего напряжения приводит к возникновению добавочных потерь в стали магнитопровода двигателя, что в свою очередь, приводит к его повышенному нагреву и необходимости снижения полезной мощности. Кроме того, кабель (даже экранированный) представляет собой при наличии высокочастотных составляющих напряжения своего рода «антенну», излучающую в окружающее пространство электромагнитное поле значительной интенсивности, которое может негативно воздействовать как на информационный канал самого электропривода, так и на расположенное поблизости слаботочное оборудование систем промышленной автоматизации, вызывая ложные срабатывания или отказы датчиков, возникновение помех в информационных каналах и нарушения работы устройств управления.

Для приближения формы напряжения на выходе ПЧ к синусоидальной производителями (Siemens, Schaffner и другими) выпускаются различные фильтры, подключаемые к выходным клеммам ПЧ, среди которых наибольшее распространение получили дроссели и индуктивно-ёмкостные фильтры (синус-фильтры или фильтры du/dt) [1,2]. Однако на данный момент отсутствует обоснованная методика выборов подобных фильтров ЭМС, учитывающая весь комплекс факторов, влияющих на возникновение и параметры помех, таких как: длина кабеля, его тип и параметры, частота коммутации ключей инвертора, скорость отпираания и запираания его ключей и т. п. Практически единственным параметром, по которому производители фильтров ЭМС рекомендуют осуществлять их выбор, является номинальный ток двигателя.



Рис. 3. Осциллограмма напряжения на зажимах двигателя (увеличен масштаб по оси времени)

В связи с этим актуальной является задача разработки методики выбора типов фильтров ЭМС и их параметров. Данная задача должна решаться с учётом таких влияющих факторов, как: длины кабеля, соединяющего двигатель с преобразователем частоты, его типа и условий прокладки, наличия / отсутствия экрана; распределённого характера параметров кабельной линии; частоты ШИМ преобразователя и возможного диапазона её изменения; крутизны фронта импульсов; наличия потерь мощности в кабеле, фильтре и двигателе и др.

Комплексный учёт всех перечисленных факторов позволит создать эффективный метод борьбы с нежелательными электромагнитными явлениями в силовом канале электропривода и повысить его электромагнитную совместимость с другим оборудованием по различным критериям.

Список литературы

1. MICROMASTER 420/430/440 Inverters 0.12 kW to 250 kW. Catalog DA 51.2 2007/2008. Siemens AG, 2007.
2. Basic in EMC / EMI and Power Quality. Introduction, Annotations, Applications. Schaffner, 2013.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ
СТРАТЕГИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ**

О.Н. Основина, Л.М. Боева

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
osnovin72@mail.ru

***Аннотация.** Обосновывается возможность снижения интенсивности отказов оборудования в процессе его эксплуатации по сравнению с проектной и обеспечения требуемой эксплуатационной надежности путем активного воздействия на оборудование при внедрении стратегии его технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию.*

***Ключевые слова:** горно-металлургическое оборудование; эксплуатационная надежность; остаточный ресурс; система планово-предупредительных ремонтов; стратегия обслуживания по фактическому состоянию.*

**TO ENSURE SAFE WORKING MINING AND SMELTING EQUIPMENT BY
IMPLEMENTING A SERVICE STRATEGY ON THE ACTUAL STATE**

O.N. Osnovina, L.M. Boeva

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol
osnovin72@mail.ru

***Abstract.** It is feasible to reduce the failure rate of equipment during its operation over the project and provide the required operational reliability through active impact on the equipment in implementing its strategy of maintenance and repair on the actual state.*

***Keywords:** mining and metallurgical equipment; operational reliability; residual life; the system of preventive maintenance; maintenance strategy on the actual state.*

1. Введение

Горно-металлургические машины и агрегаты образуют отдельный класс механического и электротехнического оборудования, отличающийся особенностями и индивидуальным подходом к процессам проектирования, изготовления, монтажа,

эксплуатации и ремонта [1]. Это обусловлено тем, что данное оборудование предназначено зачастую для реализации уникальных технологических процессов. Его функционирование в условиях постоянного воздействия значительных технологических нагрузок ведет к быстрому износу, физическому старению отдельных элементов, что влечет непрерывное ухудшение технологических и технико-экономических показателей оборудования вплоть до нарушения его работоспособного состояния и возникновения внезапных отказов.

Одной из основных задач технической эксплуатации оборудования предприятий горнодобывающего и металлургического комплекса является повышение его эффективности с целью увеличения остаточного ресурса, сокращения простоев в техническом обслуживании и ремонте, снижения затрат на проведение технических воздействий и обеспечения требуемой эксплуатационной надежности.

2. Взаимосвязь эксплуатационной надежности и организационно-технических мероприятий

Основное требование к горно-металлургическим машинам и агрегатам – обеспечение требуемой высокой надежности при отсутствии отказов. Под проектной надежностью понимается рассчитанное конструктором значение средней наработки до отказа

$$T_{\text{CP}} = \frac{t}{n} = \frac{t}{n_{\text{пост}} + n_{\text{вн}}}, \quad (1)$$

где n – общее число ожидаемых отказов за период работы t ;

$n_{\text{пост}}$ – число ожидаемых постепенных отказов;

$n_{\text{вн}}$ – число ожидаемых внезапных отказов [2].

На этапе проектирования конструктор руководствуется только номинальными технологическими нагрузками, пренебрегая паразитными, хотя именно последние во многом определяют реальный спектр нагрузок. В конструкторской документации отсутствуют требования, регламентирующие режимы работы, обоснование необходимости проведения ремонта, оценка остаточного ресурса оборудования и рекомендуемые виды ремонтов [3].

Технология изготовления и сборки оборудования рассматриваемого класса определяет уровень технологической безопасности и безотказности. В настоящее время отсутствуют единые требования к качеству изготавливаемых деталей и техническому обслуживанию машин. На любой стадии эксплуатации могут возникнуть дефекты как результат нарушения технологического процесса или неблагоприятного сочетания дестабилизирующих воздействий [4].

Вероятность выявления предотказового состояния оборудования в процессе его технического обслуживания и, тем самым, предотвращения развития постепенного отказа в интервале времени t

$$P(t) = \frac{n_{\text{пост}}}{n_{\text{пост}} + n_{\text{вн}}} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_m}}\right), \quad (2)$$

где t_m – среднее время, затрачиваемое на идентификацию текущего технического состояния, которое зависит от эффективности применяемых средств контроля и диагностики, методики и производительности аппарата прогнозирования остаточного ресурса, а также от квалификации, ментальности и опыта работы обслуживающего инженерно-технического персонала.

Следовательно, фактическое число постепенных отказов в процессе эксплуатации оборудования может быть уменьшено до значения

$$n_{\text{пост}}^{\text{ф}} = n_{\text{пост}} (1 - P(t)) < n_{\text{пост}}. \quad (3)$$

Если реальные условия эксплуатации мало отличаются от расчетных, благодаря усилиям обслуживающего персонала и безотказной работе систем жизнеобеспечения металлургического оборудования, воздействие факторов внешней среды может быть ослаблено и, следовательно, фактическая интенсивность внезапных отказов уменьшится по сравнению с расчетной

$$n_{\text{вн}}^{\text{ф}} = \lambda_3 t < n_{\text{вн}},$$

где λ_3 - фактическое значение интенсивности отказов.

Таким образом, в процессе эксплуатации оборудования общее количество отказов может быть уменьшено, а фактическое значение наработки до отказа может превысить проектную оценку

$$T_{\text{ср}}^{\text{ф}} = \frac{t}{n_{\text{пост}}^{\text{ф}} + n_{\text{вн}}^{\text{ф}}} > T_{\text{ср}}. \quad (4)$$

В этом заключается сущность активного воздействия эксплуатационных мероприятий по повышению надежности горно-металлургических машин и агрегатов.

3. Виды ремонтов металлургического оборудования

В настоящее время работа ремонтных служб предприятий горнодобывающего и металлургического комплекса направлена на обеспечение длительного безотказного состояния механического и электротехнического оборудования путем проведения его технического обслуживания и предупредительного ремонта. Доминирующая на современных предприятиях система планово-предупредительных ремонтов (ППР) предполагает, что проведение определенного объема ремонтных работ через равные промежутки времени позволит обеспечить безотказную работу эксплуатируемых машин [5]. В основе этой стратегии заложен следующий принцип: используя статистические данные об отказах аналогичного оборудования и принципов развития определенных процессов износа

отдельных его узлов в зависимости от фактической наработки, устанавливают такой срок эксплуатации оборудования, при котором вероятность безотказной работы будет достаточно высокой (например, 98%). Система ППР весьма затратная форма технического обслуживания, так как в большинстве случаев стимулируется сдельной системой оплаты труда по принципу «больше ремонта – больше оплата». Следовательно, как непосредственные исполнители, так и их руководители заинтересованы в большем объеме ремонтных работ, что существенно затрудняет интеграцию новых подходов к системе ТОиР. Также важно помнить и о том, что остаточный ресурс любого исправного механизма необоснованно подвергнувшегося вмешательству сокращается по причине нарушения качества кинематических взаимосвязей в его узлах, достигнутого естественной приработкой сопрягаемых узлов и деталей в процессе эксплуатации. Это есть самый существенный недостаток системы ППР. Чем более высокотехнологичен механизм, тем больший урон ему наносят необоснованные ревизии.

Индивидуальные свойства машин и агрегатов предприятий горнодобывающего и металлургического комплекса зачастую приводят к тому, что ремонтная служба занимается срочной ликвидацией внезапных отказов (реагирующее ТО). Это ведет к внеплановым остановкам технологических линий, снижению эффективности производства, повышению затрат на содержание оборудования и объемов проводимых ремонтных работ, увеличению скорости старения деталей, к дополнительным затратам по их преждевременной замене [6].

С приходом рыночной экономики и появлением собственников ситуация начинает меняться. Взвесив все «за» и «против» руководители предприятий начинают искать пути снижения эксплуатационных затрат, понимая что величина этих затрат должна быть обоснована и технически, и экономически. Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что повышение эффективности горно-металлургического производства требует разработки новых ремонтных стратегий, которой может стать техническое обслуживание и ремонт оборудования по его фактическому состоянию (ОФС). Его эффективность обусловлена тем, что ремонтные работы проводятся в том объеме и в то время, когда это действительно необходимо. ОФС заключается в проведении профилактических, восстановительных и диагностических работ через интервалы времени (наработки), определенные по фактическим показателям надежности, результатам предыдущего диагностического контроля, значениям параметров оценки текущего технического состояния каждого вида оборудования с учетом его срока службы и конкретных условий эксплуатации на предприятии.

Для осуществления ТОиР по фактическому состоянию необходима идентификация текущего технического состояния объекта, а также оценка и прогнозирование его остаточного ресурса. Оценка текущего технического состояния металлургических машин

осуществляется на основе детальной диагностики эксплуатируемого объекта по целому комплексу основных (анализ характера шума механизма, параметры вибрации, контроль температуры, результаты визуального осмотра) и дополнительных (анализ смазки, анализ токовых характеристик электропривода) параметров.

Одной из основных задач ОФС является своевременное выявление потенциальных отказов и неисправностей и принятие мер по предотвращению их появления. Ещё одним преимуществом технологии ОФС является то, что используемые при этом технические средства, как правило, позволяют не только производить измерения и контролировать состояние оборудования, но и обеспечивают решение задач по оперативной наладке механизмов в процессе эксплуатации. В первую очередь это касается центровки, динамической балансировки роторов, лазерной выверки геометрии горнодобывающего и металлургического оборудования. Таким образом, при технологии ОФС существенно изменяется сам цикл работ при эксплуатации оборудования.

4. Заключение

Введение обслуживания горно-металлургического оборудования по фактическому состоянию требует применения индивидуальных методов и технологий диагностики неисправностей и мониторинга технического состояния вследствие уникальности конструкции машин и агрегатов, дополнительных затрат на оснащение оборудования специфическими системами и средствами контроля. Успешное использование этой ремонтной стратегии позволит сократить количество и объемы ремонтов оборудования, а также сократить количество необходимых запасных частей и материалов вследствие проведения обслуживания на ранних стадиях развития дефектов; повысить надежность работы оборудования, значительно уменьшить число внезапных отказов и аварийных ситуаций; уменьшить упущенную из-за простоев оборудования прибыль.

Список литературы

1. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. – Донецк: Юго-Восток, 2007. – 379 с.
2. Острейковский В. А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
3. Гулидов И.Н. Оборудование прокатных цехов (эксплуатация, надежность): Учебное пособие. – Интермет-Инжиниринг, 2004. – 315 с.
4. Поляков Б.Н. Нагруженность прокатного оборудования с позиции теории случайных процессов // Известия вузов – Черная металлургия, 2005. - № 12. С. 53-57.
5. Кирильченко П.Н., Артюх В.Г., Артюх Г.В., Беляев А.Н. Система защиты оборудования от аварийных поломок // Сталь, 2007. - № 1. С. 65-66.

6. Ченцов Н.А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 258 с.

УДК 62-50:681.5

МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ

Подвальный С.Л., Васильев Е.М.

Воронежский государственный технический университет, Россия, город Воронеж

spodvalny@yandex.ru, vgtu-aits@yandex.ru

Аннотация. На основе аналогий с процессами функционирования и развития биологических систем формулируются эволюционные принципы многоальтернативности, позволяющие решать задачи управления в критических ситуациях.

Ключевые слова: многоальтернативное управление, эволюционный подход, критическая ситуация.

A MULTI-ALTERNATIVE CONTROL IN CRITICAL SITUATIONS

S. Podvalny, E. Vasiljev

Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh

Abstract. On the basis of analogies to processes of functioning and development of biological systems evolutionary principles of the multi-alternative are formulated, allowing to solve problems of control in critical situations.

Keywords: multi-alternative control, developmental approach, critical situation.

1. Введение

Проблема обеспечения безаварийной работы технологических объектов включает в себя комплекс задач, одной из которых является задача управления этими объектами в критических ситуациях. Такие ситуации характеризуются не только уходом координат системы в приграничные области номинальных режимов работы, но и значительным многообразием приграничных состояний, требующего, согласно известному информационному принципу У.Эшби [1], соответствующего многообразия алгоритмов управления. Существенная неопределённость этого многообразия достаточно успешно преодолевается применением адаптивных и робастных систем управления. Однако с ростом размерности объектов нарастающая сложность и громоздкость алгоритмов робастно-адаптивного управления стала вступать в противоречие с возможностью их практической реализации [2].

В связи с этим уместно обращение к эволюционно-биологическим аналогиям рассматриваемой задачи [3], поскольку именно процесс эволюции живых организмов под действием естественного отбора представляет собою непрерывную череду приспособительных реакций этих организмов на угрожающие их существованию критические ситуации.

2. Эволюционные принципы управления биосистем в критических ситуациях

Многоальтернативность. Необходимым условием существования и эволюции биологических систем в условиях влияния внешней среды является достаточное и даже избыточное разнообразие – многоальтернативность её таксонов, благодаря которой в ситуациях, когда изменение среды обитания становится неблагоприятным для существования какого-либо элемента системы, его место занимают одна или несколько других биологических групп, способных восстановить нарушившееся равновесие в системе, например – непрерывность пищевой цепочки [4]. Более того, в работе [5] отмечалось, что при наступлении экологического кризиса, когда под угрозой исчезновения находится вся достаточно крупная биологическая система, в последней наблюдается усиленный рост числа новых таксонов и поиск среди них приемлемого варианта для восстановления равновесия в биосфере.

Мерой разнообразия внутри одного таксона может являться информационная энтропия по Шеннону:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i; \quad p_i = \frac{N_i}{N}; \quad N = \sum_{i=1}^n N_i; \quad (1)$$

где n – количество элементов в таксоне, например, видов; N_i – мощность элемента i таксона (численность вида i), $i = 1, \dots, n$. Предложена также более удобная для сравнительных оценок мера вариабельности – коэффициент многоальтернативности μ , отражающий, в отличие от (1), не абсолютную, а относительную возможность выбора [6]:

$$\mu = \frac{H}{H_{max}} = \frac{-\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i}{\log_2 N}. \quad (2)$$

Если рассматривать последствия межэлементного взаимодействия биологической системы, то конкуренция и естественный отбор, приводящие, например, к сокращению внутривидового разнообразия, одновременно сопровождаются компенсационным ростом разнообразия родов, т.е. разнообразия более высокого иерархического уровня биосистемы.

На уровне приспособительных механизмов отдельных уровней системы, можно выделить механизм специализации и разделения функций, обеспечивающий устойчивое существование таксона в разнообразных экологических нишах.

В [7] приводится пример отряда жуков Coleoptera, видовое разнообразие которых составляет пятую часть всех видов живых организмов на Земле, обладающих уникальным примером разделения функций между парами крыльев: передние жёсткие надкрылья придают телу жука прочность и компактность, целесообразные для передвижения в воде, почве или древесине, а мягкие задние крылья – способность к полёту.

Подобное разделение функций клеток жаберного эпителия было обнаружено у рыб, для которых характерны миграции море–река–море, в ходе которых они сталкиваются с существенным изменением солёности воды и необходимостью перестройки способа поддержания своего водно-солевого баланса.

Аналогичным примером является эволюция зрения животных, перешедших от ночного образа жизни к дневному. Этот переход привёл к появлению у приматов двух типов светочувствительных клеток: высокочувствительных палочек, обеспечивающих сумеречное нецветовое зрение, и менее чувствительных, но приспособленных к различению цветов – колбочек [8]. Такое разделение функций зрительных рецепторов позволило существенно расширить экологическую нишу высших млекопитающих.

Блочно-модульный принцип эволюции структур. Говоря о роли разделении функций в механизмах эволюции, следует отметить, что этот механизм проявляется уже на молекулярном уровне простейших систем в виде блочного принципа формирования новых структур из уже «опробованных», т.е. жизнеспособных биологических блоков, имеющих специализированные функции [9].

Блочный принцип формирования биологических систем хорошо согласуется с гипотезой М. Эйгена о решающем значении матричной репликации в процессе появления жизни [10]. С точки зрения эволюции на основе матричной репликации для успешного продолжения довидовой самоорганизации важна не степень приспособленности системы, а её самоинструктирующая способность к дальнейшему безошибочному репликационному росту – подсоединению готовых комплементарных элементов-блоков.

Обсуждая механизмы эволюции сложных открытых систем, Э.М. Галимов [4] отмечает, что «... эволюция в нашем понимании должна происходить не только и даже не столько путем малых изменений, сколько скачками, обусловленными новыми сочетаниями старых структур», и, возражая сторонникам креационизма, противопоставляет постулату изначально «неупрощаемой сложности» биосистем понятие «неусложняемой простоты», подчёркивая, тем самым, комбинаторную природу эволюции.

Иерархическая организация. Принцип блочно-модульной эволюции был распространён непосредственно на системы управления биологическим организмами. В частности, в работе [11] рассматривается теория эволюционного усложнения биологических

систем управления на основе последовательных метасистемных переходов: существующие подсистемы объединяются общим механизмом управления, в результате чего формируется система качественно нового иерархического уровня, которая, в свою очередь, является подсистемой более высокого уровня управления.

Широко известным примером иерархической организации приспособительных механизмов является процесс гомеостаза [12], который осуществляется в общем плане за счёт системы управления с двумя и более иерархическими уровнями, одни из которых непрерывно поддерживают заданное состояние организма при небольших изменениях в окружающей среде, а другие реагирует только на критические отклонения этого состояния и запускают, при появлении таких отклонений, механизмы существенной перестройки организма, которые носят качественно новый характер, в частности, могут быть прерывистыми, ступенчатыми, порождающими альтернативные структуры управления (У. Эшби в [12] приводит пять! независимых механизмов стабилизации содержания глюкозы в крови человека).

Представленный анализ биологических аналогий задачи управления в критических ситуациях позволяет заключить, что биологические системы достигли высокой степени приспособительного взаимодействия с внешней средой на основе достаточно простых механизмов разделения функций, модульности и иерархичности структуры, и не испытывают ограничений, связанных с растущей функциональной сложностью организмов. Эти приспособительные механизмы объединяются единой концепцией многоальтернативности и, следуя [13], составляют принцип 3М: «модульность – многоуровневость – многоальтернативность».

Использование этой концепции в задачах управления техническими системами снижает трудности, связанные со сложностью функционирования объектов в критических ситуациях, в силу «неусложняемой простоты» соответствующих систем управления и возможности текущего выбора их структуры из необходимого множества альтернатив [14,15].

3. Общая структура системы многоальтернативного управления

Выделим основные функциональные блоки, принципиально необходимые для построения системы многоальтернативного управления, см. рисунок. Формальное описание системы многоальтернативного управления может быть представлено в виде (3)–(8):

$$\begin{cases} \dot{x} = K(x,t) + N(x,t) \cdot u + F(x,t) \cdot f; \\ y = L(x,t) + A(x,t) \cdot u + H(x,t) \cdot f, \end{cases} \quad (3)$$

$$x_j \xrightarrow{r_{ij}} s_{ij}; \quad r_{ij} \in R; \quad i = \overline{1, k}; \quad j = \overline{1, N_i}, \quad (4)$$

$$x_j \xrightarrow{s_{ij}} u_{ij}; \quad s_{ij} \in S, \text{ или } b_j \xrightarrow{d_{ij}} u_{ij}; \quad d_{ij} \in D, \quad (5)$$

$$u = [u_{ij}(p_{ij}, Q)]; \quad p_{ij} = P_{ij}(x_j), \quad (6)$$

$$q(t) = \text{extr}_\ell q(s_{i, N_i + \ell}); \quad q(t) = q(g(t), x(t)), \quad \ell_i = 1, 2, \dots, \quad (7)$$

$$Q(t) = \text{extr}_{ij} Q(u_{ij}); \quad Q(t) = Q(g(t), x(t)), \quad (8)$$

где (3) – описание объекта управления в пространстве состояний x с векторами управления u и возмущения f с помощью нестационарных матриц K, N, F, L, S, H ; (4) – процедуры принятия решений (решающие правила) r_{ij} при выборе необходимого соответствия $s_i \in S$ между текущим состоянием x_j объекта и вариантом алгоритма управления u_{ij} , R – множество решающих правил, k – количество вариантов алгоритмов управления, N_i – количество значений вектора параметров для алгоритма i ; (5) – выбор варианта управления u_{ij} из множества альтернатив $j = 1, 2, \dots, N_i$ по текущему состоянию x_j , а также при программном назначении режима b_j работы системы с помощью функциональных взаимосвязей $d_{ij} \in D_i$; (6) – формирование вектора управления u в соответствии с выбранной альтернативой u_{ij} , текущим значением функции цели $Q(t)$ и параметрами $p_{ij} = P_{ij}(x_j)$, настраиваемыми контуром параметрического управления с алгоритмами P ; (7) – процедуры обучения, обеспечивающие синтез новых взаимосвязей $s_{i, N_i + \ell}$ по целевому критерию $q(t)$ обучения; (8) – общая цель управления $Q(t)$, достигаемая на множестве альтернатив u_{ij} .

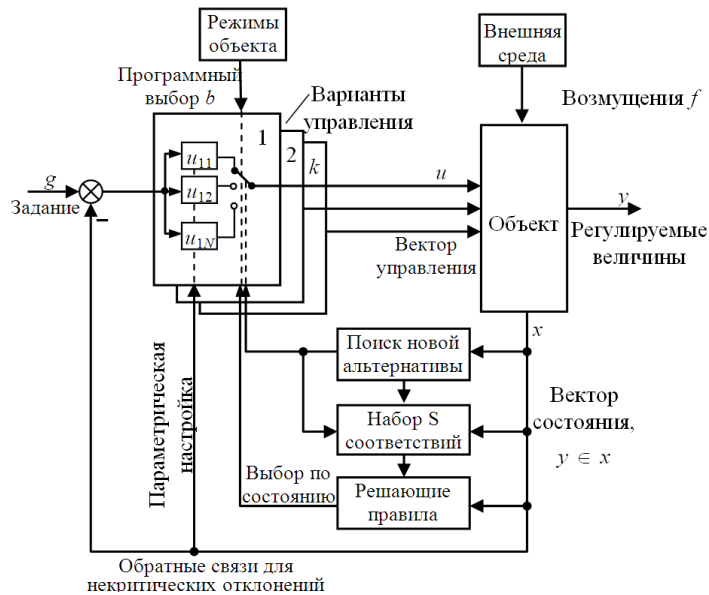


Рис.1. Функциональная схема системы многоальтернативного управления

Соотношения (3)-(8) описывают контур выбора альтернативного алгоритма управления и контур параметрической настройки каждого из них, и обеспечивают системе достижение цели управления при критическом изменении состояния объекта и условий его функционирования. Работой системы регулирования в области не критических отклонений

управляет традиционный канал обратной связи, не требующий применения процедур многоальтернативного выбора.

Список литературы

1. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: КомКнига, 2005. 432 с.
2. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб.: Наука, 2000. 549 с.
3. Подвальный С.Л. Эволюционные принципы формирования структуры вычислительных систем // Адаптация в сложных системах управления: сб. науч. тр. Воронеж: Воронежский политехнический институт, 1979 . С. 60–63.
4. Галимов Э.М. Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. М.: Едиториал УРСС, 2006. 256 с.
5. Core E.D. The primary factors of organic evolution. Chicago: The Open Court Publishing Company, 1904. 547 p.
6. Подвальный С.Л. Многоальтернативные системы: обзор и классификация // Системы управления и информационные технологии. 2012. № 2. С. 4–13.
7. Гринин Л.Е., Марков А.В., Коротаев А.В. Макроэволюция в живой природе и обществе. М.: Либроком, 2009. 248 с.
8. Jacobs G.H., Nathans J. The Evolution of Primate Color Vision // Scientific American. 2009. April. P. 32–39.
9. Ратнер В.А. Блочно-модульный принцип организации и эволюции молекулярно-генетических систем управления // Генетика. 1992. № 2. С. 5–23.
10. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. 224 с.
11. Турчин В.Ф. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. М.: ЭТС, 2000. 368 с.
12. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. М.: Изд. иностр. лит., 1962. 397 с.
13. Подвальный С.Л. Сопряжённые системы и градиент при оптимизации динамических систем // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8, № 12.1. С. 57–62.
14. Васильев Е.М. Управление критическими режимами хаотических систем // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8, № 9. С. 32–39.
15. Васильев Е.М. Исследование критических режимов в системах управления теплообменом // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8, № 12.1. С. 69–72.

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА

А.И. Половинкина, А.Л. Ухин, А.Ю. Зенин

Воронежский ГАСУ

ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России

***Аннотация.** С помощью предлагаемых моделей осуществляется построение комплексной оценки уровня пожарной безопасности районов Воронежской области.*

***Ключевые слова:** пожарная безопасность, модель оценки.*

DEVELOPMENT PROGRAM INCREASING REGIONAL LEVEL OF FIRE SAFETY

A.I. Polovinkina, A.L. Uhin, A.Yu. Zenin

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Voronezh Institute of State Fire Service of the Russian Ministry of Emergency Situations

***Abstract.** With the proposed model building an integrated assessment of the level of fire safety Voronezh region's areas is carried out.*

***Keywords:** fire safety, assessment model.*

Государственная противопожарная служба Воронежской области состоит из районных подразделений ГПС, число которых определяется числом административных единиц в составе Воронежской области. На сегодняшний день это 32 сельских района, 6 районов города Воронежа и город Нововоронеж (всего 39 административных единиц).

Деятельность каждого районного подразделения ГПС характеризуется достаточно значительным числом параметров. Из всей совокупности выделим параметры, характеризующие уровень пожарной безопасности: количество пожаров, которое будем обозначать через K ; размер материального ущерба – M ; число погибших (Π) и число получивших травмы различной степени тяжести (T). С учетом этих параметров рассчитаем интегральную оценку каждой районной службы. Данные о пожарах за период с 2008 по 2012 год по Воронежской области приведены в табл. 1.

Для обеспечения сопоставимости абсолютных данных, приведенных в табл. 1, приведем все данные в относительном виде, осуществив пересчет на 10 тыс. человек населения конкретной административно – территориальной единицы, для чего разделим все данные табл. 1 на численность населения соответствующего района в десятках тысяч.

Полученные данные, приведенные в табл. 2, будут уже сопоставимы, но достаточно тяжело выделить лучшие службы, так как у одних будет лучше одни показатели, у других – другие, поэтому для дальнейшего решения необходимо осуществить построение комплексной оценки деятельности структурных подразделений областной противопожарной службы.

Обзор методов, применяемых для построения комплексных оценок систем различной природы приведен в [2, 3, 6, 7]. Анализ показывает, что первоначальной процедурой является приведение всех показателей оценки к сопоставимому виду. С этой целью предлагается осуществить переход к безразмерным значениям, определенным на интервале $[0;1]$. Как правило, такое преобразование удобно осуществить с помощью формулы полной нормализации.

Построение комплексных оценок связано построение матриц различной природы, размерность которых часто совпадает с количеством объектов оценки (например, метод, основанный на использовании матрицы потерь, или же на использовании медианы Кемени). Учитывая, что в рассматриваемом случае приходится иметь дело с достаточно большим массивом объектов (39 структурных единиц), приходится констатировать, что данные алгоритмы будут весьма трудоемки. Другой особенностью применения данных методов является трудность интерпретации полученных результатов, так как полученная оценка в виде числа будет мало информативна и нуждается в дальнейшей конкретизации. Это связано с тем, что оценка деятельности любых социально-экономических систем, как правило, осуществляется на уровне вербальных характеристик типа: «хорошо», «плохо» и т.п.

Учитывая эти особенности изучаемой проблемы, предлагается вместо операции приведения величин к безразмерному виду выполнить оценку этих величин по качественной шкале более привычной для лиц, принимающих решения. Для этой цели введем набор лингвистических переменных, которые будут оценивать объекты по четырехбалльной шкале. При этом оценка 1 балл будет соответствовать неудовлетворительному состоянию службы, 2 – удовлетворительному, 3 – хорошему и 4 – отличному.

В таких моделях сверток всегда достаточно сложным является вопрос о выборе значений, соответствующих оценкам «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «плохо» [4]. В данном случае выбор граничных значений может быть обусловлен следующими обстоятельствами: выбор наилучшего значения достаточно очевиден: наилучшим значением будет являться 0, то есть отсутствие ущерба, погибших и травмированных. В качестве удовлетворительных значений могут быть использованы значения из общероссийской статистики, приведенные в табл. 3. .

Таблица 1

Районы	2008				2009				2010				2011				2012			
	К	М	П	Т	К	М	П	Т	К	М	П	Т	К	М	П	Т	К	М	П	Т
Центральный р-н г.Воронежа	83	1143537	11	6	75	197513	7	6	70	267000	0	3	78	224430	5	8	73	953816	6	4
Железнодорожный р-н г.Воронежа	141	5291652	15	13	98	261595	9	4	118	8757440	12	12	105	305831	9	13	122	3740000	4	15
Коминтерновский р-н г.Воронежа	259	3656934	9	18	198	230000	13	18	198	2636236	11	16	172	4043281	8	15	139	400000	6	16
Левобережный р-н г.Воронежа	184	4269500	23	12	169	346177	11	20	146	2508165	9	17	148	7000	8	11	118	192600	8	9
Ленинский р-н г.Воронежа	108	2011719	3	18	86	634965	4	4	79	1036053	3	6	76	480000	3	5	78	222679	4	11
Советский р-н г.Воронежа	170	3524059	7	23	152	484971	12	14	142	1670174	6	10	149	6129670	4	18	132	14339885	9	12
Аннинский р-н	82	3396768	8	4	106	156532	11	6	89	10150	12	0	88	0	6	6	60	523617	5	3
Бобровский р-н	111	5203560	12	8	110	2000235	12	5	92	5137950	10	5	74	2255298	9	5	64	2711195	3	2
Богучарский р-н	61	2847807	6	7	61	849490	5	5	64	2195966	10	6	68	1215847	3	6	57	6284485	4	5
Борисоглебский	101	6643365	15	10	94	608288	6	10	96	215871	13	9	78	31009221	5	7	84	8802600	7	8
Бутурлиновский	42	1729853	5	3	43	77230	10	2	63	980138	10	2	60	267908	5	0	56	5410000	12	1
Верхнемамонский	33	602795	4	1	34	242303	4	1	26	246540	4	4	36	0	3	0	39	435800	3	2
Верхнехавский р-н	54	1729000	4	3	73	849276	6	2	62	829039	4	6	47	496919	5	4	50	480679	4	8
Воробьевский р-н	35	825208	2	5	38	298850	3	4	42	145258	0	2	21	641487	2	1	25	388983	2	2
Грибановский р-н	51	1805204	8	3	55	25000	4	1	63	0	4	3	48	0	3	2	48	0	4	0
Калачеевский р-н	88	4502169	9	7	85	1714955	7	6	66	8298593	6	5	58	833563	3	6	60	2266470	11	7
Каменский р-н	15	873900	2	1	21	825194	9	0	20	648141	2	0	26	1545186	3	2	19	7165303	1	0
Кантемировский	53	2176572	5	1	60	135337	9	5	68	200553	5	1	63	7800	4	4	56	4852755	4	5
Каширский р-н	70	4013970	3	7	70	834930	6	7	85	2066294	5	10	63	2495629	11	8	67	1491753	7	10
Лискинский р-н	190	8136397	11	9	174	2352209	19	17	183	5421000	4	21	161	3376047	10	24	157	10958348	15	8
Нижнедевицкий	36	859500	3	3	35	0	5	4	38	20000	6	0	31	30000	6	2	30	0	4	1

Продолжение табл. 1

Районы	2008				2009				2010				2011				2012			
	К	М	П	Т	К	М	П	М	К	М	П	М	К	М	П	М	К	М	П	М
Новоусманский р-н	119	4113500	11	5	124	521000	7	5	120	8170000	13	3	100	0	5	5	83	0	8	7
Новохоперский р-н	65	1620036	4	0	46	963772	3	0	62	214742	10	6	64	920676	6	1	70	5742134	9	5
Ольховатский р-н	24	595000	1	0	23	218365	2	2	23	14570	1	1	29	253056	5	2	30	235654	3	2
Острогожский р-н	100	6390904	11	9	102	154685	8	3	90	38500	5	2	75	66400	7	4	74	80000	11	5
Павловский р-н	85	5933274	8	23	92	2053685	6	11	85	557537	8	17	75	237775	6	8	78	163987	3	13
Панинский р-н	37	475000	2	1	45	1257896	4	2	40	810297	3	1	40	2064549	3	6	30	486009	4	1
Петропавловский р-н	30	849660	2	3	37	163975	4	6	36	392895	5	4	27	22864	1	2	41	5085000	3	5
Поворинский р-н	36	3603837	5	8	68	121517	6	4	58	2500	4	1	39	28016	4	0	38	14190	2	0
Подгоренский р-н	29	224000	4	2	28	0	6	3	43	2109000	0	1	39	213087	3	2	40	7550	1	5
Рамонский р-н	53	2096300	6	2	59	66021	5	0	63	3905159	5	3	69	26444993	7	3	73	1237550	1	2
Репьевский р-н	28	844345	6	3	29	1943000	3	0	24	718810	0	0	28	1410000	2	0	20	164750	2	2
Россошанский р-н	103	11462691	7	9	96	205805	7	6	99	50640	8	9	76	833247	6	10	78	0	6	11
Семилукский р-н	129	2446397	16	4	129	503795	12	9	127	2417992	13	5	104	575045	13	3	102	487621	8	7
Таловский р-н	67	2485840	4	0	71	1041659	11	0	72	889905	2	1	66	7053165	4	3	59	2987710	7	0
Терновский р-н	58	2579826	5	3	73	107100	6	0	58	587760	3	5	45	667389	6	0	42	2527659	0	1
Хохольский р-н	56	1091500	6	0	55	84000	7	2	58	72000	6	0	58	0	6	0	61	0	2	0
Эртильский р-н	41	1352700	12	7	51	32000	5	8	63	232800	9	4	53	37744	11	5	42	816217	4	3
г.Нововоронеж	18	0	4	1	16	130626	0	2	23	120492	5	2	21	42300	1	1	22	225958	1	0
всего по Воронежу	945	19897401	68	90	778	2155221	56	66	753	16875068	41	64	728	11190212	37	70	662	19848980	37	67
по районам	2100	93510878	211	152	2203	20538730	218	138	2201	47721092	195	139	1930	85045211	174	132	1855	72033977	161	131
всего	3045	113408279	279	242	2981	22693951	274	204	2954	64596160	236	203	2658	96235423	211	202	2517	91882957	198	198

Таблица 2

Районы	2008				2009				2010			2011				2012			
	К	М	П	Т	К	М	П	Т	К	М	П	К	М	П	Т	К	М	П	Т
Центральный р-н г.Воронежа	9,5	131140	8,7	8,7	8,6	22651	8,7	0,7	8	30619	0	8,9	25737	0,6	0,9	8,4	10939	0,7	0,5
Железнодорожный р-н г.Воронежа	9,7	362442	14,6	15	6,7	17917	14,6	0,3	8	599824	0,8	7,2	20947	0,6	0,9	8,4	256164	0,3	1,
Коминтерновский р-н г.Воронежа	10,2	143911	25,4	25	7,8	9051	25,4	0,7	7,8	103744	0,4	6,8	159115	0,3	0,6	5,5	15741	0,2	0,6
Левобережный р-н г.Воронежа	10	231660	18,4	18	9,2	18783	18,4	1,1	7,9	136091	0,5	8	380	0,4	0,6	6,4	10450	0,4	0,5
Ленинский р-н г.Воронежа	9	167643	12	12	7,2	52914	12	0,3	6,6	86338	0,3	6,3	40000	0,3	0,4	6,5	18557	0,3	0,9
Советский р-н г.Воронежа	9,5	196326	18	18	8,5	27018	18	0,8	7,9	93046	0,3	8,3	341486	0,2	1	7,4	798879	0,5	0,7
Аннинский р-н	16,9	698923	4,7	4,9	21,8	32208	4,9	1,2	18,3	2088	2,5	18,1	0	1,2	1,23	12,4	107740	1	0,6
Бобровский р-н	21,8	1020306	5,1	5,1	21,6	392203	5,1	1	18	1007441	2	14,5	442215	1,8	1	12,6	531607	0,6	0,39
Богучарский р-н	15,7	733971	3,7	3,9	15,7	218941	3,9	1,3	16,5	565971	2,58	17,5	313362	0,8	1,6	14,7	1619713	1	1,29
Борисоглебский	13	857208	7,8	7,8	12,1	78489	7,8	1,3	12,4	27854	1,7	10,1	4001190	0,6	0,9	10,8	1135819	0,9	1
Бутурлиновский	8,3	341194	5,1	5,1	8,5	15233	5,1	0,4	12,4	193321	2	11,8	52842	1	0	11,1	1067061	2,4	0,2
Верхнемамонский	15,5	283002	2,1	2,1	16	113757	2,1	0,5	12,2	115747	1,9	16,9	0	1,4	0	18,3	204601	1,4	0,9
Верхнехавский р-н	22	705714	2,5	2,5	29,8	346643	2,5	0,8	25,3	338383	1,6	19,2	202824	2	1,6	20,4	196196	1,6	3,3
Воробьевский р-н	18	425365	2	1,9	19,6	154046	1,9	2,1	21,6	74875	0	10,8	330663	1	0,5	12,9	200507	1	1
Грибановский р-н	14,2	504247	3,6	3,6	15,4	6983	3,6	0,3	17,6	0	1,1	13,4	0	0,8	0,6	13,4	0	1,1	0
Калачеевский р-н	15,3	782986	5,75	5,8	14,8	298253	5,8	1	11,5	1443234	1,	10,1	144968	0,5	1	10,4	394169	1,9	1,2
Каменский р-н	7,2	420144	2,1	2,1	10,1	396728	2,1	0	9,6	311606	1	12,5	742878	1,4	1	9,1	3444857	0,5	0
Кантемировский	13,3	544143	4	4	15	33834	4	1,3	17	50138	1,3	15,8	1950	1	1	14	1213189	1	1,2
Каширский р-н	26,5	1520443	2,6	2,6	26,5	316261	2,6	2,7	32,2	782687	1,9	23,86	945314	4,2	3	25,4	565058	2,65	3,8
Лискинский р-н	18,8	805584	10	10	17,2	232892	10,1	1,7	18,1	536733	0,4	15,9	334262	1	2,4	15,5	1084985	1,5	0,792
Нижедевицкий	16,3	388914	2,2	2,2	15,8	0	2,2	1,8	17,2	9050	2,7	14	13575	2,7	0,9	13,6	0	1,8	0,452

Продолжение табл. 2

Районы	2008				2009				2010				2011				2012			
	К	М	П	Т	К	М	П	М	К	М	П	М	К	М	П	М	К	М	П	М
Новоусманский р-н	19	640732,1	1,71	0,78	19	81152,65	1,09	0,8	19	1272586	2	0,5	16	0	0,8	0,8	12,9	0	1,2	1
Новохоперский р-н	16	399023,6	0,99	0	11	237382,3	0,74	0	15	52892,12	2,5	1,5	16	226767,5	1,5	0,2	17,2	1414319	2,2	1
Ольховатский р-н	9,6	238000	0,4	0	9,2	87346	0,8	0,8	9,2	5828	0,4	0,4	12	101222,4	2	0,8	12	94261,6	1,2	1
Острогожский р-н	17	1085043	1,87	1,53	17	26262,31	1,36	0,5	15	6536,503	0,8	0,3	13	11273,34	1,2	0,7	12,6	13582,34	1,9	1
Павловский р-н	15	1033671	1,39	4,01	16	357784,8	1,05	1,9	15	97131,88	1,4	3	13	41424,22	1	1,4	13,6	28569,16	0,5	2
Панинский р-н	13	163230,2	0,69	0,34	15	432266,7	1,37	0,7	14	278452,6	1	0,3	14	709467	1	2,1	10,3	167013,4	1,4	0
Петропавловский	14	391548,4	0,92	1,38	17	75564,52	1,84	2,8	17	181057,6	2,3	1,8	12	10536,41	0,5	0,9	18,9	2343318	1,4	2
Поворинский р-н	11	1053754	1,46	2,34	20	35531,29	1,75	1,2	17	730,9942	1,2	0,3	11	8191,813	1,2	0	11,1	4149,123	0,6	0
Подгоренский р-н	11	81159,42	1,45	0,72	10	0	2,17	1,1	16	764130,4	0	0,4	14	77205,43	1,1	0,7	14,5	2735,507	0,4	2
Рамонский р-н	18	710610,2	2,03	0,68	20	22380	1,69	0	21	1323783	1,7	1	23	8964404	2,4	1	24,7	419508,5	0,3	1
Репьевский р-н	17	505595,8	3,59	1,8	17	1163473	1,8	0	14	430425,1	0	0	17	844311,4	1,2	0	12	98652,69	1,2	1
Россошанский р-н	11	1233874	0,75	0,97	10	22153,39	0,75	0,6	11	5451,023	0,9	1	8,2	89692,9	0,6	1,1	8,4	0	0,6	1
Семилукский р-н	20	385259,4	2,52	0,63	20	79337,8	1,89	1,4	20	380786,1	2	0,8	16	90558,27	2	0,5	16,1	76790,71	1,3	1
Таловский р-н	15	562407,2	0,9	0	16	235669,5	2,49	0	16	201336	0,5	0,2	15	1595739	0,9	0,7	13,3	675952,5	1,6	0
Терновский р-н	24	1088534	2,11	1,27	31	45189,87	2,53	0	24	248000	1,3	2,1	19	281598,7	2,5	0	17,7	1066523	0	0
Хохольский р-н	18	349839,7	1,92	0	18	26923,08	2,24	0,6	19	23076,92	1,9	0	19	0	1,9	0	19,6	0	0,6	0
Эртильский р-н	14	471324	4,18	2,44	18	11149,83	1,74	2,8	22	81114,98	3,1	1,4	18	13151,22	3,8	1,7	14,6	284396,2	1,4	1
г.Нововоронеж	5,1	0	1,14	0,28	4,5	37109,66	0	0,6	6,5	34230,68	1,4	0,6	6	12017,05	0,3	0,3	6,25	64192,61	0,3	0

Дальнейшее построение шкалы лингвистических переменных достаточно очевидно: отличные значения будут находиться в окрестности нулевой точки, удовлетворительные – в точке, соответствующей общероссийским статистическим показателям. Окрестность точки будет определяться с учетом погрешности получения статистической информации, то есть 5%. Соответствующие данные представлены в табл. 4.

С учетом данных табл. 4 получим следующие значения лингвистических оценок для всех объектов оценки (см. табл. 5).

В целях получения интегральной оценки воспользуемся алгоритмом матричных сверток, описанных в [1, 3, 5].

Следует отметить, что основным требованием при формировании матриц логической свертки является взаимная независимость используемых критериев, то есть отсутствие мультиколлинеарности. В рассматриваемом случае показатель количество пожаров имеет связь с другими критериями превышающую допустимую, следовательно, данный критерий должен быть исключен из рассматриваемой модели. Таким образом, остается только три критерия оценки: размер материального ущерба (М), число погибших (П) и травмированных (Т). Причем число погибших и травмированных образуют агрегированный показатель, называемый социальным ущербом (С).

Таблица 3

Показатели \ Год	2008	2009	2010	2011	2012
Число пожаров на 10 тыс. чел.	14,11	13,21	12,58	11,79	11,36
Материальный ущерб, млн. р. на 10 тыс. чел.	0,86	0,77	1,23	1,21	1,00
Погибшие на 10 тыс. чел.	1,07	0,98	0,91	0,84	0,81
Травмированные на 10 тыс. чел.	0,9	0,93	0,92	0,87	0,83

Таблица 4. Диапазон значения показателей

Показатели \ Оценка	1	2	3	4
Число пожаров на 10 тыс. чел.	>15	11÷15	6÷10	<6
Материальный ущерб, млн. р. на 10 тыс. чел.	>2	1,3÷2	0,8÷1,2	<0,7
Погибшие на 10 тыс. чел.	>2	1,3÷2	0,8÷1,2	<0,7
Травмированные на 10 тыс. чел.	>2	1,3÷2	0,8÷1,2	<0,7

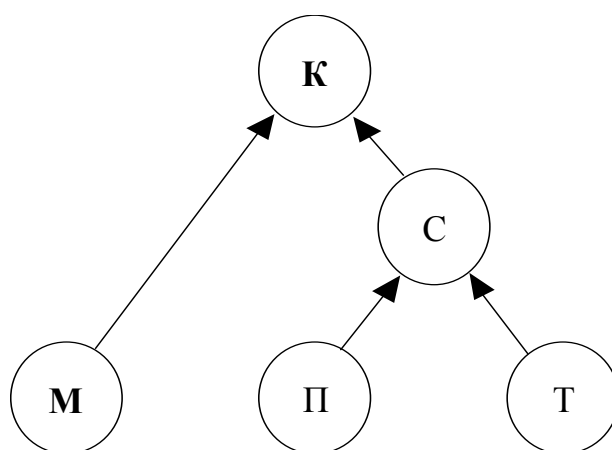


Рис. 1. Иерархическая структура критериев оценки пожарной безопасности

Для свертки критериев число погибших (П) и травмированных (Т) используется матрица свертки, приведенная в табл. 6, а для свертки критериев материального (М) и социального (С) ущерба используется матрица, приведенная в табл. 7.

Данные табл. 6 отражают общественные приоритеты, так при критическом положении по числу погибших и травмированных приоритет отдается обоим критериям. При удовлетворительном положении с числом травмированных приоритет имеет показатель «число погибших», поскольку состояние с хорошей оценкой по числу травмированных и удовлетворительной по числу погибших оценивается как удовлетворительное, а обратная картина (оценка «хорошо» по числу погибших и «удовлетворительно» по числу травмированных) характеризуется оценкой «хорошо». С ростом показателя характеризующего число погибших приоритет смещается в сторону показателя числа травмированных, поскольку оценку «отлично» можно достичь только при оценке «отлично» по числу травмированных (при этом, возможна оценка «хорошо» по числу погибших).

Таблица 5

Районы	2008				2009				2010				2011				2012			
	К	М	П	Т	К	М	П	Т	К	М	П	Т	К	М	П	Т	К	М	П	Т
Центральный р-н г.Воронежа	3	1	1	1	3	1	1	4	3	1	4	4	3	1	4	3	3	1	4	4
Железнодорожный р-н г.Воронежа	3	1	1	1	3	1	1	4	3	1	3	3	3	1	4	3	3	1	4	3
Коминтерновский р-н г.Воронежа	3	1	1	1	3	1	1	4	3	1	4	4	3	1	4	4	4	1	4	4
Левобережный р-н г.Воронежа	3	1	1	1	3	1	1	3	3	1	4	3	3	1	4	4	3	1	4	4
Ленинский р-н г.Воронежа	3	1	1	1	3	1	1	4	3	1	4	4	3	1	4	4	3	1	4	3
Советский р-н г.Воронежа	3	1	1	1	3	1	1	3	3	1	4	4	3	1	4	3	3	1	4	4
Аннинский р-н	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	4	1	4	3	3	2	1	3	4
Бобровский р-н	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	2	3	2	1	2	3	2	1	4	4
Богучарский р-н	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	3	2	2	1	3	3
Борисоглебский	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3	3	1	4	3	3	1	3	3
Бутурлиновский	3	1	1	1	3	1	1	4	2	1	2	4	2	1	3	4	2	1	1	4
Верхнемамонский	1	1	1	1	1	1	1	4	2	1	2	2	1	4	2	4	1	1	2	3
Верхнехавский р-н	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1
Воробьевский р-н	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	4	3	3	1	3	4	2	1	3	3
Грибановский р-н	2	1	1	1	1	1	1	4	1	4	3	3	2	4	3	4	2	4	3	4
Калачеевский р-н	1	1	1	1	2	1	1	3	2	1	3	3	3	1	4	3	3	1	2	3
Каменский р-н	3	1	1	1	3	1	1	4	3	1	3	4	2	1	2	3	3	1	4	4
Кантемировский	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	4	1	1	3	3	2	1	3	3
Каширский р-н	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Лискинский р-н	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	4	1	1	1	3	1	1	1	2	4
Нижедевицкий	1	1	1	1	1	4	1	2	1	1	1	4	2	1	1	3	2	4	2	4
Новоусманский	1	4	4	4	1	4	4	4	1	4	4	4	1	4	4	4	1	4	4	4
Новохоперский	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ольховатский р-н	1	1	2	4	1	1	3	3	1	1	1	4	1	4	3	3	2	4	3	3
Острогожский р-н	1	1	3	4	2	1	4	4	1	1	1	2	1	1	2	4	1	1	1	3
Павловский р-н	3	1	4	4	3	1	3	3	3	1	4	4	2	1	1	3	2	1	3	3
Панинский р-н	1	1	2	2	1	1	2	4	1	1	3	4	2	1	3	4	2	1	2	3
Петропавловский	1	1	2	1	1	1	3	2	1	1	2	1	2	1	3	2	2	1	4	1
Поворинский р-н	2	1	4	4	1	1	2	4	2	1	3	4	2	1	3	1	3	1	2	4
Подгоренский р-н	2	1	3	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	4	3	1	1	2	1
Рамонский р-н	2	1	2	1	1	1	2	3	1	1	3	4	2	1	3	4	2	1	4	4
Репьевский р-н	2	1	2	4	3	4	1	3	1	1	4	4	2	1	3	4	2	1	4	1
Россошанский р-н	1	1	1	4	1	1	2	4	1	1	2	3	1	1	1	3	1	1	4	3
Семилукский р-н	1	1	1	2	1	1	2	4	2	1	4	4	1	1	3	4	2	1	3	3

Таловский р-н	2	1	4	3	3	1	4	4	2	1	3	3	3	1	4	3	3	4	4	3
Терновский р-н	1	1	1	4	1	1	2	2	1	1	1	3	1	1	1	4	1	1	2	3
Хохольский р-н	1	1	3	4	1	1	1	4	1	1	4	4	1	1	3	4	2	1	2	4
Эртильский р-н	1	1	1	3	1	1	1	4	1	1	2	1	1	1	1	4	1	1	4	4
г.Нововоронеж	1	1	2	4	1	1	1	4	1	1	2	4	1	4	2	4	1	4	4	4

Таблица 6

4	2	3	4	4
3	1	2	3	3
2	1	2	3	3
1	1	1	1	2
Г П	1	2	3	4

Получив оценку социального ущерба, можно построить матрицу свертки для интегральной оценки уровня пожарной безопасности. Вариант построения такой оценки приведен в табл. 7.

Таблица 7

4	2	3	4	4
3	2	2	3	3
2	1	2	3	3
1	1	1	2	2
С М	1	2	3	4

При формировании данных табл. 7 исходили из представлений о том, что в кризисной ситуации с материальным и социальным ущербом приоритет имеют оба показателя. При удовлетворительном или хорошем значении этих показателей приоритет смещается в сторону материального ущерба. В тех случаях, когда достигнуты высокие оценки уровня пожарной безопасности (хорошо или отлично) приоритет снова имеет показатель социального ущерба. Следует отметить, что пограничные состояния уровня пожарной безопасности, отделяющие плохой уровень состояния от удовлетворительного, удовлетворительный от хорошего и т. д., могут задаваться строго говоря, по разному.

Таблица 8

Район	2008	2009	2010	2011	2012
Центральный р-н г.Воронежа	1	1	2	2	2
Железнодорожный р-н г.Воронежа	1	1	2	2	2
Коминтерновский р-н г.Воронежа	1	1	2	2	2
Левобережный р-н г.Воронежа	1	1	2	2	2
Ленинский р-н г.Воронежа	1	1	2	2	2
Советский р-н г.Воронежа	1	1	2	2	2
Аннинский р-н	1	1	1	3	2
Бобровский р-н	1	1	1	1	2
Богучарский р-н	1	1	1	2	2
Борисоглебский	1	1	1	2	2
Бутурлиновский	1	1	2	2	1
Верхнемамонский	1	1	1	4	1
Верхнехавский р-н	1	1	1	1	1
Воробьевский р-н	1	1	2	2	2
Грибановский р-н	1	1	3	4	4
Калачеевский р-н	1	1	2	2	1
Каменский р-н	1	1	2	1	2
Кантемировский	1	1	2	2	2
Каширский р-н	1	1	1	1	1
Лискинский р-н	1	1	1	1	2
Нижедевицкий	1	2	1	1	3
Новоусманский	4	4	4	4	4
Новохоперский	1	1	1	1	1
Ольховатский р-н	2	2	1	3	3
Острогожский р-н	2	2	1	2	1
Павловский р-н	2	2	2	1	2
Панинский р-н	1	2	2	2	1
Петропавловский	1	2	1	2	1
Поворинский р-н	2	2	2	1	2
Подгоренский р-н	2	1	1	2	1
Рамонский р-н	1	1	2	2	2
Репьевский р-н	2	2	2	2	1
Россошанский р-н	1	1	1	1	2
Семилукский р-н	1	2	2	2	2
Таловский р-н	2	2	2	2	3
Терновский р-н	1	1	1	1	1
Хохольский р-н	2	1	2	2	2
Эртильский р-н	1	1	1	1	2
г.Нововоронеж	2	2	1	2	4
Рейтинг региона	51	53	63	74	75

Причем, изменение этих границы может происходить во времени, так как по мере

развития общества изменяются и его требования к уровню обеспечения пожарной безопасности и то, что сегодня соответствовало удовлетворительному или даже хорошему состоянию, по прошествии некоторого количества времени и достижения новых показателей качества жизни может перестать удовлетворять общество и, соответственно перейдет в состояние, характеризуемое оценкой «неудовлетворительно».

Результаты по расчету интегральных оценок представлены в табл. 8. По результатам расчета построена диаграмма интегральных оценок территориальных ГПС на 2012 год на рис.2 и диаграмма динамики интегральной оценки ГПС Воронежской области за период с 2008 по 2012 год, представленная на рис. 3.

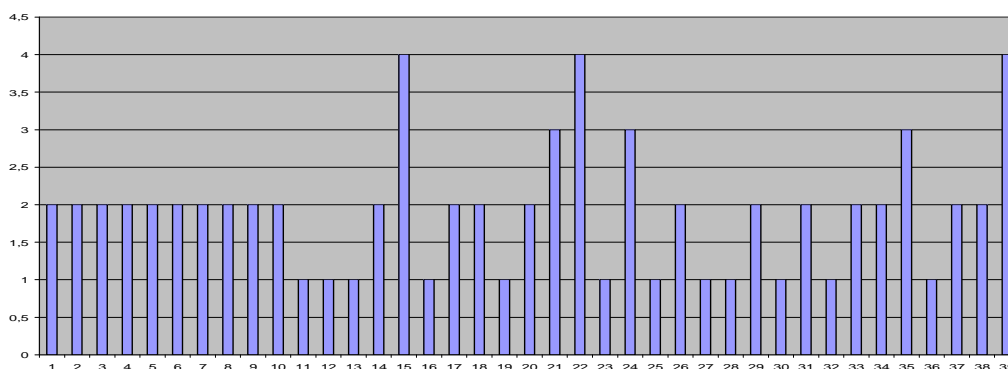


Рис. 2

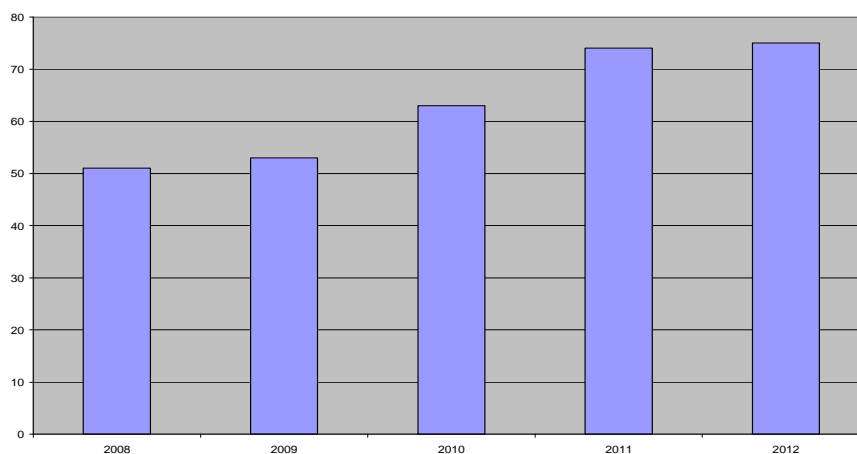


Рис. 3. Динамика интегральной оценки ГПС Воронежской области за период с 2008 по 2012 год

Анализируя диаграмму, представленную на рис.3, можно сделать вывод о том, что региональный уровень пожарной безопасности за последние годы повысился по сравнению с 2008 годом на 50 %. Но несмотря на это, необходимы усиленные целенаправленные меры на повышение регионального уровня пожарной безопасности, так как даже по числу погибших

и травмированных во многих районах Воронежской области наблюдается превышение над общероссийскими показателями.

Список литературы

1. Бурков, В.Н. Задачи дихотомической оптимизации [Текст] / В.Н. Бурков, И.В. Буркова // М.: Радио и связь. – 2003. – 156 с.
2. Баркалов, С.А. [Текст] Модели и методы управления проектами при организационно-технологическом проектировании строительства / С.А. Баркалов, П.Н. Курочка, Л.Р. Маилян, И.С. Суровцев // Воронеж: ВГАСУ, 2013. – 533 с.
3. Курочка, П.Н. Выбор вариантов выполнения работ по содержанию объектов надежности [Текст] / П.Н. Курочка, Г.Г. Сеферов // ВЕСТНИК Воронежского государственного технического университета Том 7 № 4, 2011. – С. 203 – 208.
4. Курочка, П.Н. Оценка надежности элементов организационной системы [Текст] / П.Н. Курочка, С.В. Молозин, В.Г. Тельных // Вестник Воронежского государственного технического университета, Том 6, № 7, 2010. – С. 27 – 30.
5. Курочка, П.Н. Модель определения надежности при нечетких сведениях о степени надежности [Текст] / П.Н. Курочка, А.Л. Маилян // Системы управления и информационные технологии. Научно-техн. журнал, Москва-Воронеж, том 49, № 3.1(49), 2012. С. 192 – 197.
6. Семенов, П.И. Оптимизационные модели и методы в управлении строительным производством / П.И. Семенов, С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, П.Н. Курочка, А.И. Половинкина. – Воронеж: Научная книга, 2007. – 423 с.
7. Чередниченко, Н.Д. Модели распределения ресурсов в строительном проекте [Текст] / П.Н. Курочка, А.Н. Симоненко, Н.Д. Чередниченко // Технология и организация строительного производства. – Москва: АНО "Международный центр по развитию и внедрению механизмов саморегулирования", 2013. №4(5). – 46 – 48 с.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ВАКУУМНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Положенцев К.А.

СТИ НИТУ МИСиС, Metallurgical plant «Электросталь», Электросталь

E-mail: kirill.polozhentsev@gmail.com

***Аннотация:** Предложена модель процесса управления напряжением вакуумной дуговой печи на основе уравнений двигателя постоянного тока, перемещения электрода, межэлектродного промежутка, напряжения печи. Проведено моделирование предложенной модели управления напряжением. Выполнено экспериментальное исследование на вакуумной дуговой печи №8 ОАО «Metallurgical plant «Электросталь». Сделано сравнение моделирования с экспериментальными данными вакуумной дуговой печи. Установлена близость разработанной модели управления к реальному объекту. Проведено сравнение с другими исследованиями по управлению напряжением для вакуумных дуговых печей. Сделано заключение, что разработанную модель в дальнейшем можно использовать в качестве модели для построения системы регулирования.*

***Ключевые слова:** вакуумная дуговая печь, вакуумный дуговой переплав, управление напряжением, построение модели, короткие замыкания, уравнение капель, электродвигатель постоянного тока.*

BUILDING A MODEL OF THE PROCESS CONTROL VOLTAGE VACUUM ARC FURNACE

Polozhentsev K.A.

STI NUST "MISiS", Stary Oskol

Metallurgical plant "Electrostal" ,Electrostal

***Abstract:** A model of voltage control of the vacuum arc furnace based on the equations of a DC motor, electrode movement, the electrode gap, the voltage of the furnace. The simulation model proposed voltage control. Experimental studies on the vacuum arc furnace №8 JSC "Metallurgical Plant" Electrostal ". Made comparing simulation with experimental data of the vacuum arc furnace. Established intimacy developed management model to the real object. A comparison with other*

studies on stress management for vacuum arc furnaces. It is concluded that the developed model can then be used as a model for the construction of the control system.

В настоящее время в металлургической промышленности используется большое количество различных вакуумных дуговых печей, в которых разными способами реализовано управление процессом вакуумного дугового переплава.

Вакуумная дуговая печь (ВДП) [1] - электрическая печь для плавки металлов в вакууме энергией электрической дуги. Печь применяется для переплава металла в вакууме для улучшения свойств и чистоты получаемого в процессе переплава слитка.

Переплавляемый электрической дугой металл называют электродом. Он крепится к подвижному механическому штоку. ВДП содержит газоразрядную систему, где электрическая дуга существует на поверхностях переплавляемого металла и на получаемом слитке. При подаче постоянного тока между электродом и кристаллизатором возникает электрическая дуга. Выделяющееся тепло расплавляет электрод, жидкий металл стекает в кристаллизатор, образуя слиток.

Перемещение штока с электродом осуществляет электродвигатель постоянного тока (ДПТ) через систему редукторов так, чтобы расстояние между электродом и слитком (межэлектродный промежуток) сохранялось постоянным.

Широкое развитие автоматизации технологических процессов в последние годы связано не только с появлением новых средств вычислительной техники, но и современных методов управления. Системы АСУТП вакуумных дуговых печей опираются на различные параметры, которые следует контролировать в процессе всего переплава. Такими параметрами являются: ток, напряжение внутри печи, давление в вакуумной камере, вес расходуемого электрода, напряженность магнитного поля, частота капель, скорость переплава и т.д.

В настоящей работе предложен метод управления напряжением. Для этого используют разность напряжений печи заданного (u_z) и фактического (u_n).

Модель процесса управления напряжением вакуумной дуговой печи основывается на поддержании интеграла разности Δu (В) в допустимых границах не превышающих заданной величины Δu^* (В).

Целью управления является поддержание $\Delta u < \Delta u^*$:

$$\Delta u = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t |u_z - u_n(t)| dt, T < t, \quad (1)$$

где T – интервал времени усреднения ошибки, с; t – текущее время, с.

Напряжение печи зависит от величины межэлектродного промежутка и падения каплей расплава. Они на короткий промежуток времени снижают сопротивление межэлектродного промежутка. Напряжение печи описывается как:

$$u_n(t) = i_n R_n(t), \quad (2)$$

$$R_n(t) = l(t) R_{mm} - L_k(t) R_k + R_{zn}, \quad (3)$$

где $l(t)$ – величина межэлектродного промежутка, мм; i_n – ток печи (принимается постоянным значение тока на выбранном диапазоне исследования), А; $R_n(t)$ – сопротивление печи (сопротивление электрода, дуги, слитка), Ом; R_{mm} – сопротивление 1 мм промежутка дуги, Ом/мм; R_{zn} – сопротивление электрода и слитка, Ом; $L_k(t)$ – длина металла перемыкающий межэлектродный промежуток, мм; R_k – сопротивление 1 мм капли, Ом/мм.

Расстояние от электрода до слитка:

$$l(t) = S_0 + S(t) - \frac{m_{zn}(t)}{\pi r_2^2 \rho} \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{r_2^2} \right), \quad r_2(t) = \varphi(l_2), \quad (4)$$

где S_0 – расстояние от электрода до дна кристаллизатора на момент начала переплава, м; $S(t)$ – перемещение электрода с момента начала переплава, м; R – радиус слитка, м; r_2 – радиус электрода (если электрод не цилиндрический, то r_2 – является функцией длины электрода $l_2(t)$), м; ρ – плотность электрода, кг/м³; $m_{zn}(t)$ – масса слитка в текущий момент времени, кг.

Перемещение электрода описывается уравнением:

$$\dot{S} = K_p \omega, \quad (5)$$

где K_p – коэффициент передачи редуктора, м; $\omega(t)$ – скорость вращения вала двигателя, рад/с.

Уравнения двигателя постоянного тока [2]:

$$J \dot{\omega} = k_m i_a + M_n, \quad (6)$$

$$L_a \dot{i}_a + r_a i_a + k_e \omega = u_a, \quad (7)$$

где J – приведенный к валу двигателя момент инерции механической системы (электрода, штока и груза), кг*м²; k_m – конструктивная постоянная двигателя, (кг*м²)/(с²*А); k_e – конструктивная постоянная двигателя, В*с; i_a – ток якоря двигателя, А; r_a – сопротивление якоря двигателя, Ом; L_a – индуктивность якоря, Гн; M_n – момент нагрузки, кг*м²/с².

Напряжение якорной цепи двигателя формируется выпрямителем:

$$T_a \dot{u}_a + u_a = k_s u_\phi, \quad (8)$$

$$T_\phi \dot{u}_\phi + u_\phi = K_{pss} \varepsilon, \quad (9)$$

$$\varepsilon = u_z - u_n, \quad (10)$$

где u_z – заданное напряжение дуговой печи, В; $u_n(t)$ – напряжение печи, В; $u_{\Phi}(t)$ – сглаженное значение напряжения, В; T_{Φ} – постоянная времени сглаживающего фильтра, с; k_{ε} – коэффициент усиления выпрямителя двигателя, T_{ε} – постоянная времени выпрямителя, с.

Пусть капли весом m_i падают равномерно через время τ_i , тогда получаем следующее:

$$m_{\text{кап}}(t_p) = \sum_{i=1}^p m_i, \quad t_p = \sum_{i=0}^p \tau_i, \quad p = \overline{1, N}, \quad (11)$$

Рост капли протекает в 5 этапов, показан на рис. 2 и рис. 3:

1. Капля образуется на поверхности электрода. Её ножка растёт со скоростью v_1 в течение времени δ_1 ;
2. В момент времени $t_{p-1} + \delta_1$ рвется ножка и капля отрывается и летит к слитку. В течение времени δ_2 ножка сокращается со скоростью v_2 , ($v_2 > v_1$) до её исчезновения (в момент времени $t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2$);
3. Капля длиной h_x летит к слитку в течение времени δ_3 , так что она в момент времени $t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ касается слитка. (на интервале $[t_{p-1} + \delta_1, t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2]$ длина h_x суммируется с длиной уменьшающейся ножки, а начинается с моментом времени $t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2$ длина $l_x = h_x$), где δ_3 – время полета капли от момента конца втягивания ножки до момента касания со слитком;
4. Капля входит в слиток в момент времени $t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ со скоростью v_4 в течение времени δ_4 .

$$l_x(t) = \begin{cases} v_1(t - t_{p-1}), & t_{p-1} \leq t \leq t_{p-1} + \delta_1, l_{x1} = v_1 \delta_1; \\ l_{x1} - v_2(t - (t_{p-1} + \delta_1)), & t_{p-1} + \delta_1 \leq t \leq t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2, l_{x1} - v_2 \delta_2 = h_x, v_2 \delta_2 = l_{x1} - h_x; \\ h_x, & t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2 \leq t \leq t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3, v_3 = 0; \\ h_x - v_4(t - (t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3)), & t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \leq t \leq t_{p-1} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4, v_4 \delta_4 = h_x, \end{cases} \quad (12)$$

где t_{p-1} – момент начала образования p-той капли, с; l_{x1} – максимальная длина металла перемыкающий межэлектродный промежуток, м.

Для решения уравнений (2)-(12) была использована функция ode23 программы Matlab.

В качестве двигателя выбран двигатель постоянного тока П-12.

Экспериментальные испытания напряжения проводились на вакуумной дуговой печи ДВС-3.2-Г1 ОАО «Металлургический завод «Электросталь». Параметры, при которых осуществлялся текущий эксперимент, были следующие: диаметр кристаллизатора 320 мм, диаметр переплавляемого электрода 250 мм, марка стали переплавляемого электрода ПШРЗ ЭП718, ток плавления 3,8 кА и с заданным напряжением печи 26,4 В. Напряжение снимается с шунтов согласно электрическим схемам подключения источника питания (выпрямитель). После вакуумирования возбуждалась электрическая дуга между поддоном кристаллизатора и нижним торцом электрода, устанавливался дуговой зазор 20 мм. Далее в течение 5 минут производился прогрев расходуемого электрода при токе 2,5 кА. Затем в течение 6 минут происходило повышение тока до 5 кА и наведение «жидкой» ванны. Как только навели «жидкую» ванну выходим на рабочий режим плавления при токе 3,8 кА.

Сравнивая графики видно, что картина наличия капельных замыканий примерно сопоставима. Принимая это во внимание можно считать, что модель удовлетворяет реальным показателям и параметрам исследуемой печи.

В работе [3] приведены графики показывающие поведение сопротивления, напряжения и тока внутри ВДП в момент образования. Графики сопротивление и напряжение соответствуют друг другу.

Сравнивая полученные экспериментальным методом данные с данными в работе [3]. Снятые с печи ДВС-3,2-Г1 значения тока, напряжения и сопротивления с заданными интервалами, соответствуют интервалам. Следует заметить, что приведенные в работе [3] не позволяют определить диаметр кристаллизатора, а так же конструкцию самой печи и участок, на котором происходит переплав.

В результате проведенных исследований построена модель процесса управления напряжением вакуумной дуговой печи (2)-(12). Проведено экспериментальное исследование осуществленное на вакуумной дуговой печи ДВС-3.2-Г1 ОАО «Металлургический завод «Электросталь». Результаты моделирования на основании уравнений (2)-(12) процесса управления напряжением вакуумной дуговой печи и результаты эксперимента сопоставимы.

Список литературы

1. Лапшин И.В. Автоматизация дуговых печей. – М.: Издательство МГУ, 2004, – 165 с.

2. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1990, 304 с.
3. Zanner F.J., Williamson R.L., Harrison R.P., Flanders H.D., Thompson R.D. and Szeto W.C. Superalloy 718-Metallurgy and Applications Edited by Loria E.A., The Minerals, Metals & Materials Society, 1989, 17-32.

669.02/.09:658.58

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.В. Попов, С.Н. Серегин, М.А. Горпинченко

ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат" (Липецк, Россия)

Аннотация. В ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» успешно реализован проект «Мобильное Техническое Обслуживание» («Мобильное ТО»). Пилотным объектом стал агрегат непрерывного горячего цинкования №3 (АНГЦ-3) в производстве холодного проката и покрытий (ПХПП). Далее проект был тиражирован на печах электрошлакового переплава, в механосборочном цехе сталеплавильного оборудования (МЦСО). В настоящее время ведутся подготовительные работы к тиражированию проекта на другие агрегаты. Проведенная автоматизация процессов технического обслуживания и ремонтов (ТОиР), позволила оптимизировать ремонтный персонал, получать реальные, достоверные данные о текущем состоянии оборудования.

Ключевые слова: "Мобильное Техническое Обслуживание", агрегат непрерывного горячего цинкования, печи электрошлакового переплава.

A MODERN APPROACH TO METALLURGICAL EQUIPMENT MAINTENANCE AND REPAIR

A.V. Popov, S.N. Seregin, M.A. Gorpichenko

Novolipetsk Steel Company (Russia, Lipetsk)

Abstract. Novolipetsk Steel Company has successfully implemented the project «Mobile maintenance». This complex was introduced for the first time into continuous galvanizing line #3 (CGL #3) in cold-rolled steel and coating steel production. This project also was introduced into

electroslag remelting furnace in machine-assembly department of steel melting equipment. At present day NLMK organizing cleanup activities for introduction «Mobile maintenance» into the other units. The advantages of automation of maintenance processes and equipment repair introduced at NLMK are optimization of maintenance personnel, trusted data acquisition about real-time equipment condition.

Key words: *mobile maintenance, continuous galvanizing line, electroslag remelting furnaces.*

Постановка проблемы

Для предприятия, в состав которого входит огромное количество единиц оборудования, а также имеющего большую численность персонала, встречаются большие сложности на пути к выявлению реального текущего состояния на производстве. Проект «Мобильное ТО» является автоматизированным инструментом по предоставлению реальной информации на текущий момент времени, что обуславливает возможность оптимизировать работу дежурных служб, а также вскрывать проблемные и «узкие места» производства.

Цели и задачи проекта

Целями данного проекта являются:

- обеспечение обязательности технического обслуживания, включая осмотры, плановое техническое обслуживание (ТО), ревизии/инспекции;
- получение информации о состоянии оборудования и потребности в обслуживании, в дополнительном обследовании, замене деталей, ремонтных работах;
- сокращение объемов записей и отчетности ремонтного персонала.

Задачи, решаемые в процессе внедрения проекта "Мобильное ТО", следующие:

- автоматическое планирование осмотров и регламентных работ по ТО;
- оповещение дежурных бригад об объеме работ, включенных в сменное задание;
- регистрация параметров, контролируемых на оборудовании;
- оповещение ответственных лиц о состоянии оборудования;
- оповещение об уровне исполнительской дисциплины дежурного персонала.

Основной материал исследования

Проект представляет собой программно-технический комплекс, в состав которого входит разработанное и адаптированное под систему SAP ERP мобильное приложение; RFID - система, состоящая из считывающего устройства (сканера) и транспондера (RFID-метки), с которого считываются данные, записанные и сохраненные на нем; коммуникатор (мобильное

устройство).

Для организации проекта, потребовалось собрать и систематизировать данные об имеющемся оборудовании. Для этого была проведена колоссальная по объему работа, рабочей группой были собраны графики проведения осмотра оборудования, графики выполнения инструментального контроля, уточнены типовые каталоги дефектов, мероприятий и причин, с последующим уточнением и детализацией структуры технических мест до единиц оборудования всей технологической линии агрегата, а также другого вспомогательного оборудования, включая грузоподъемные механизмы. После чего полученные данные были внесены в систему SAP ERP, где оборудованию был присвоен уникальный код с названием данного оборудования. Также были созданы графики проведения осмотров, оборудования, графики инструментального контроля, созданы точки контроля.

Следующим этапом внедрения проекта стало тестирование мобильного приложения. Поскольку мобильное приложение является посредником между лицом, выполняющим осмотры, и системой SAP ERP, необходимо оценить точность и качество обмена информацией между ними.

Организация мобильного подхода к процессу осмотров оборудования, происходит следующим образом: перед началом работы дежурный персонал проходит процедуру авторизации пользователя на коммуникаторе в приложении «Мобильное ТО». После синхронизации данных на мобильное устройство по каналу беспроводной связи Wi-Fi поступают задания для осмотра оборудования. Прибыв на место осмотра, работник идентифицирует оборудование посредством промышленного портативного считывателя, получающего информацию с RFID-метки и передающего ее коммуникатору по каналу беспроводной связи Bluetooth. Результаты выполнения сменного задания вносятся в мобильное устройство с обязательным электронным подтверждением перечня проконтролированных мероприятий. В случае обнаружения неисправности оборудования, и, неважно есть ли этот объект в сменном задании или нет, система позволяет оперативно внести информацию о дефекте, выбрав из типового каталога нужную позицию.

С внедрением проекта «Мобильное ТО» появилась возможность оперативного ввода замеренных значений параметров оборудования. Замеры производятся в точках контроля с помощью инструментальных средств диагностирования, таких как: пирометр, тепловизор, виброметр, манометр и т.п. Вся собранная информация во время обходов и замеров занесенная в коммуникатор передается в систему SAP ERP по каналу Wi-Fi.

Таким образом, с мобильных устройств в систему SAP ERP поступают данные о результатах и времени проведения осмотров оборудования, замеренных значениях, а также замечаниях по техническому состоянию оборудования на текущий момент времени.

Технологический персонал, обслуживающий агрегат также вовлечен в процесс мобильного технического обслуживания. В ходе работы технологический персонал вносит в систему SAP ERP через рабочую станцию (персональный компьютер) выявленные неисправности в работе оборудования, а также измеренные параметры. Для этого в системе SAP ERP реализована функция упрощенного ввода информации о дефекте. В системе SAP ERP формируется сообщение с введенным дефектом, где указано место возникновения и развития дефекта (уникальный код), время внесения дефекта, исполнитель работ, сроки проведения работ, причина дефекта, а также перечень мероприятий необходимых для устранения неисправности.

На основании дефектов внесенных в систему персоналом производившим осмотры технологическим персоналом формируется план технического обслуживания (ТО) на текущие сутки в виде сообщений на ТО. Задание по устранению дефектов ремонтным персоналом планируется ответственным за исправное техническое состояние оборудования в системе SAP ERP вручную. При невозможности выполнения корректирующих действий по устранению неисправностей ремонтным персоналом во время работы агрегата ответственное лицо указывает дополнительные мероприятия по устранению дефекта во время ТО, либо капитального ремонта.

Выводы

Проект «Мобильное ТО» позволяет ремонтным службам в режиме реального времени собирать информацию об оборудовании и передавать ее в систему SAP ERP для последующего хранения и анализа. С внедрением проекта «Мобильное ТО» появилась возможность в любой момент времени отследить текущее состояние оборудования. Все созданные документы находятся в электронном виде, поэтому вся накопленная информация может храниться неограниченное количество времени при этом отсутствует возможность потери или фальсификации данных так же любые интересующие данные можно распечатать за любой промежуток времени. На основании полученных материалов появилась возможность своевременно выявлять потребности в проведении технического обслуживания, не допуская при этом внеплановых остановов и простоев оборудования тем самым сократить потери производства и увеличить надежность оборудования. Обеспечение обязательности осмотров предоставляет возможность оценки реального текущего состояния оборудования,

тем самым создаются благоприятные условия для отслеживания качества проведенных ранее ремонтных работ. Основываясь на вышесказанном можно лишь добавить то, что принимая во внимание все параметры вносимые в систему SAP ERP необходимо лишь грамотно принимать решения о замене той или иной части для того чтобы впоследствии предотвратить отказы и простои оборудования и здесь необходимо вмешательство инженеров способных верно оценивать текущее состояние агрегатов. Ведь проект «Мобильное ТО» это лишь инструмент по сбору достоверной информации о текущем состоянии оборудования для последующего анализа и принятия решений по недопущению возникновения аварий на том или ином участке. Современные методы проведения технического обслуживания позволяют упростить методы контроля над исполнением своих обязанностей персоналом, а также заменить устаревшие способы ведения технической документации и сделать работу более мобильной и плановой.

УДК 67.02

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Л.П. Рыжова, А.В. Путненко

Российский государственный геологоразведочный университет

Россия, г. Москва

e-mail: rggru-uprav520@ya.ru, putnenko_av@mail.ru

***Аннотация:** В современных условиях, сталь является важнейшим элементом в архитектуре и строительстве, в авиационной, космической, автомобильной и других промышленных отраслях. Как один из важнейших промышленных материалов мира сталь постоянно соревнуется с другими продуктами. Для компаний, занимающихся производством стали, и компаний, продающих сталь, это означает постоянное стремление к гибкости, позволяющей с помощью новых разработок продуктов, а также путем повышения производительности и качества соответствовать динамическим изменениям рынка. Для этого требуется эффективная обработка информации, которая с помощью интегрированных систем сопровождает все процессы, начиная от заготовки и производства, финансов и контроллинга и кончая сбытом. В статье даны рекомендации по тому, как ERP система на базе решений SAP способствует более эффективному управлению всеми процессами на предприятии.*

Ключевые слова: Система управления ресурсами предприятия SAP.

**AUTOMATION AND CONTROL IN THE ENGINEERING
AND ORGANIZATIONAL OF LEGAL SYSTEM**

L.P. Ryzhova, A.V. Putnenko

Russian State Geological Prospecting University

Russia, Moscow

e-mail: rggru-uprav520@ya.ru, putnenko_av@mail.ru

Abstract: *Under current conditions, the steel is a critical element in the architecture and construction, aerospace, automobile and other industries. As one of the most important world material became a permanent competes with other products. For companies engaged in the production of steel, and the companies selling steel, which means the constant pursuit of flexibility, allowing through new product development, as well as by improving the productivity and quality correspond to the dynamic market changes. All activities are designed to meet the requirements of the processing industry, placed on the supply, quality, timeliness and compliance costs of the purchase prices. This requires efficient processing of information, which with the help of the integrated systems accompanies all processes, from procurement and production, finance and controlling to marketing. The article gives recommendations, how solutions ERP system SAP contributes to more efficient management of all processes in the company.*

Keywords: *Enterprise Resource Planning SAP system.*

На мировом рынке существует множество систем управления ресурсами предприятия, таких известных производителей программного обеспечения, как Scala, Oracle, 1С, Галактика и другие, но мы уделим внимание одной из ведущей и успешной из них по опыту внедрения в различных мировых отраслях – системе SAP. Система, которая уже проходит в горной отрасли промышленную эксплуатацию на таких Российских предприятиях, как ООО "Евразхолдинг", ОАО "Мечел", ЗАО "Управляющая компания "Магнезит Огнеупор Групп", "Алроса", ОАО "Челябинский трубопрокатный завод" (ЧТПЗ), ЗАО "Стальпрокат", "ВСМПО-Ависма", "Русал" и др.

Компания SAP является ведущим производителем стандартного прикладного программного обеспечения, предназначенного для предприятий различных отраслей в том числе и для горно-металлургического сектора. По заявлению SAP, в мире насчитывается

более 10 000 клиентов SAP и более 19 000 успешных инсталляций продуктов SAP. По всему миру с системами SAP работает более 1 миллиона пользователей. Согласно любому стандарту эти цифры впечатляют, прекрасно характеризую дальновидность компании, а также значительную роль компании на стремительно развивающемся рынке информационных технологий.

Одной из таких систем, наиболее подходящих к специфике горнорудного предприятия, является SAP for mining. Это обусловлено наличием в ней модулей диспетчеризации на основе GPS-систем проектирования, организации и планирования, моделирования процессов горных работ в электронном виде, управления ресурсами предприятия, ведением финансового учета.

Приобретение и эксплуатация такого вида систем предопределяет довольно существенный уровень капитальных и эксплуатационных вложений компании. Поэтому эффективность этих затрат должна быть тщательно рассчитана и проанализирована.

Очень часто интеграция программных продуктов на горнорудном предприятии сопряжена с рядом трудностей, среди которых можно выделить следующие:

- Неготовность коллектива пользователей к использованию программного продукта в полном объеме;
- Несоответствие материально-технического обеспечения функционированию программных продуктов;
- Неоднородность информационного пространства;
- Отсутствие локальных сетей между подразделениями предприятия;
- Отсутствие четкого распределения ответственности между отделами предприятия.

Поэтому сегодня вопросы, связанные с эффективностью внедрения программного продукта в производственно-хозяйственную систему предприятия с учетом факторов риска, являются весьма актуальными.

Список литературы

1. Грачева М.В. Анализ проектных рисков. – М.: Финстатинформ, 1999. – 216 с.
2. Официальный сайт компании «SAP СНГ» [Электронный ресурс]: Горная промышленность URL: <http://www.sap.com/cis/solution/industry/mining.html>.
3. Технологии корпоративного управления [Электронный ресурс]: Корпоративное управление URL: <http://www.iteam.ru/publications/corporation/>

4. Кале В., Внедрение SAP R/3 [Электронный ресурс]: Руководство для менеджеров и инженеров URL: <http://www.lib.rus.ec>.
5. SAP AG, SAP-система R/3 (в металлургии), 1997.

УДК 519.6+ 669

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО СЛИТКА

А.Н. Сапрыкина, А.П. Михайлов

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

Россия, г. Старый Оскол

ansaprykina@mail.ru

Аннотация: Разработана схема конечно-разностной аппроксимации тепловых процессов, алгоритм решения и программная реализация.

Ключевые слова: Криволинейная МНЛЗ; тепловое поле; граничные условия.

MODELLING OF THERMAL FIELD CONTINUOUS INGOT

A.N. Saprykina, A.P. Mikhailov

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»

Russia, Stary Oskol

Abstract: The scheme of the finite-difference approximation of the thermal processes, solution algorithm and software implementation.

Keywords: Curved continuous casting machine; thermal field; the boundary conditions.

Качество заготовок зависит от тепловых процессов, протекающих в разливаемом металле. Затвердевание слитка начинается в зоне первичного охлаждения. В кристаллизаторе происходит формирование внешней оболочки за счет интенсивного отвода теплоты. Процесс кристаллизации завершается в зоне вторичного охлаждения (ЗВО), которую можно условно разделить на два участка: криволинейный и прямолинейный.

Тепломассоперенос в ЗВО описывается уравнением[1]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \theta_m \frac{\partial T(r, r, \varphi)}{\partial \varphi} = \frac{1}{c\rho} \left(\lambda \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Граничные условия на криволинейных участках по внутреннему радиусу

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_m} = \alpha_I (T_{I_m} - T|_{r=r_m}) + C_{I_m} (T_{I_m}^4 - T|_{r=r_m}^4) \quad (2)$$

и по внешнему радиусу

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_m+2l} = \alpha_E (T_{E_m} - T|_{r=r_m+2l}) + C_{E_m} (T_{E_m}^4 - T|_{r=r_m+2l}^4) \quad [1] \quad (3)$$

Для модели выполняется условие Стефана и условие равенства температур на границе раздела фаз. Тепловой поток в конце криволинейного участка ЗВО считается равным нулю.

Заданы начальные условия для всего поля температур на криволинейных участках:

$$T(\mathbf{0}, r, \varphi) = T_0(r, \varphi) \quad (4)$$

Предположим, что ширина слитка не изменяется и является величиной постоянной. Электромагнитное перемешивание не учитывается.

Трехмерную математическую модель конечно-разностной аппроксимации температурного поля в ЗВО опишем следующими уравнениями[2]:

$$\frac{T_{i+1,j,k} - T_{i,j,k}}{\Delta r} + \theta_m \frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta \varphi} = \frac{1}{\sigma \rho} \left(\lambda \frac{T_{i,j+1,k} - 2T_{i,j,k} + T_{i,j-1,k}}{\Delta r^2} + \frac{\lambda}{r^2} \frac{T_{i,j,k+1} - 2T_{i,j,k} + T_{i,j,k-1}}{\Delta \varphi^2} + \frac{\lambda}{r} \frac{T_{i,j+1,k} - T_{i,j,k}}{\Delta r} \right) \quad (5)$$

- уравнение тепломассопереноса в слитке,

$$-\lambda \frac{T_{i+1,j+1,k} - T_{i+1,j,k}}{\Delta r} = \alpha_I (T_{I_m} - T_{i+1,j,k}) + C_{I_m} (T_{I_m}^4 - T_{i+1,j,k}^4) \quad (6)$$

- граничные условия на криволинейных участках по внутреннему радиусу,

$$\lambda \frac{T_{i+1,j-1,k} - T_{i+1,j,k}}{\Delta r} = \alpha_I (T_{I_m} - T_{i+1,j,k}) + C_{I_m} (T_{I_m}^4 - T_{i+1,j,k}^4) \quad (7)$$

- граничные условия на криволинейных участках по внешнему радиусу.

Температурные значения во внутренних точках определяются из уравнения (5) с учетом равенства температур на границе раздела двух фаз. Граничные значения, определяются из уравнений (6) и (7).

Алгоритм реализован в пакете Mathematica. Программа позволяет определять значения температурного поля в узлах построенной модели с течением времени в ЗВО.

Список литературы

1. Иванова А.А. Управление режимами вторичного охлаждения МНЛЗ // *Металлургические процессы и оборудование* – 2008. - №4(14) – С. 17-21
2. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 384 с.

УДК 004.75

НЕЙРОСТРУКТУРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПРОДУКЦИИ

Сараев П.В., Галкин А.В.

Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

psaraev@yandex.ru, avgalkin82@mail.ru

Аннотация. В работе представлен подход к прогнозированию наличия дефектов горячекатаной продукции на основе нейроструктурного моделирования. Описан класс нейроструктурных моделей и алгоритм конструктивного построения моделей.

Ключевые слова: нейроструктурное моделирование, конструирование моделей, прогнозирование дефектов.

NEUROSTRUCTURAL PREDICTION OF HOT-ROLLED PRODUCTION DEFECTS

Saraev P.V., Galkin A.V.

Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk

Abstract. Prediction of hot-rolled production based on neurostructural modelling is stated in the article. Class of neurostructural modeling and algorithm for modes construction are described in the work.

Keywords: neurostructural modeling, model construction, defects prediction.

Одним из подходов к формальному математическому моделированию является нейросетевой [1]. Его развитием является нейроструктурное моделирование [2]. Нейроструктурное моделирование представляет собой обобщение нейросетевого. Нейросетевые модели (НСМ) включают широкий класс различных архитектур нейронных сетей, сходных с сетями прямого распространения, а также нечёткие и нейро-нечёткие модели (рис. 1).

НСМ с m слоями имеют характерную суперпозиционную линейно-нелинейную по весам структуру:

$$y = W^{(m)} \sigma^{(m)} \left(\dots \left(W^{(2)} \sigma^{(2)} \left(W^{(1)} x \right) \right) \dots \right), \quad (1)$$

где $W^{(i)}$ – матрица весов i -го слоя, $\sigma^{(i)}$ – векторная функция векторного аргумента, составленная из функций активации нейроноподобных элементов (НПЭ) i -го слоя, которые могут отличаться друг от друга, $i=1, \dots, m$, x и y – векторы входов и выходов соответственно.

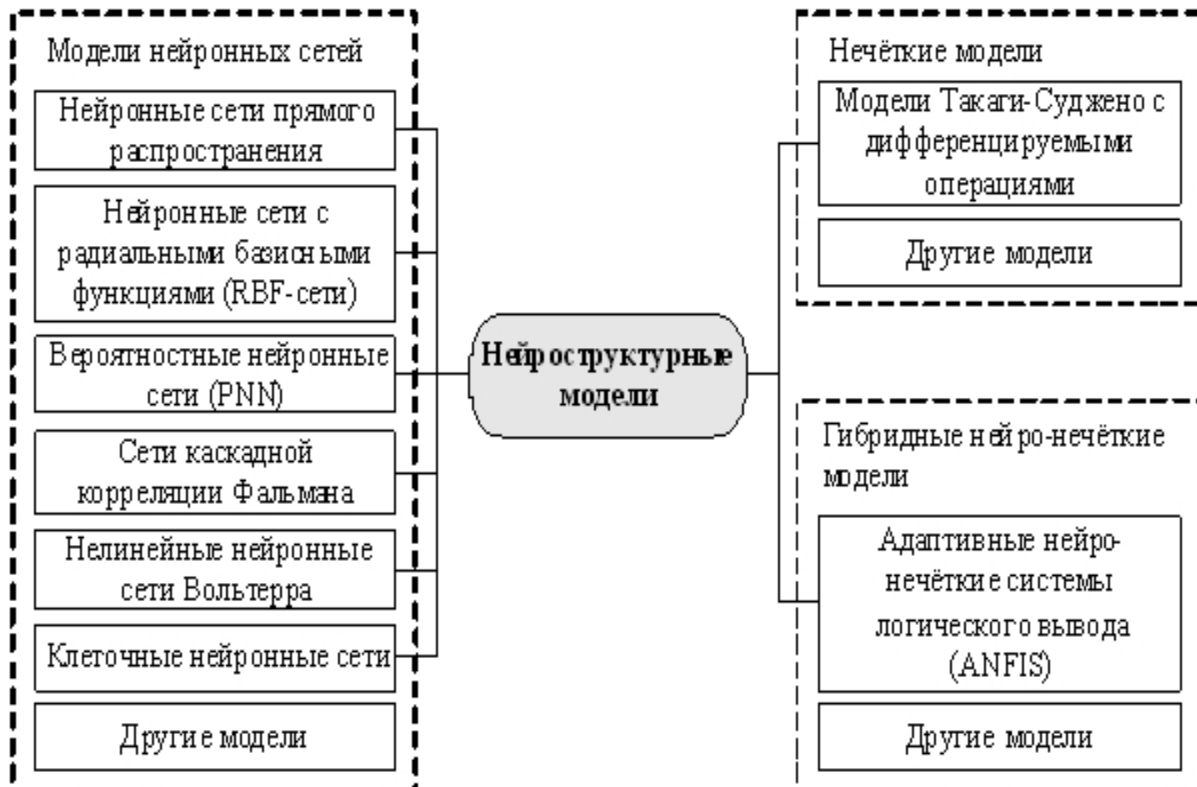


Рис. 1. Подклассы нейроструктурных моделей

Учет специальной структуры НСМ позволяет разработать и использовать единую алгоритмическую основу алгоритмов построения. Построение моделей включает их структурную идентификацию и обучение. Для структурной идентификации могут применяться разные подходы, предназначенные для построения нейронных сетей прямого распространения. Наиболее целесообразно применение конструктивного подхода, при котором реализуется принцип перехода от простых моделей к более сложным на основе добавления новых НПЭ [2]. Предложен подход, обеспечивающий снижение ошибки обучения при добавлении новых НПЭ (рис. 2).

Обучение является задачей параметрической идентификации. Как правило, обучение оказывается нелинейной задачей о наименьших квадратах (НЗНК). Требуется определить значения весов w , минимизирующих функционал

$$Q(w) = \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q \left(y_q(w, \tilde{x}^{(k)}) - \tilde{y}_q^{(k)} \right)^2, \quad (2)$$

где $\tilde{x}^{(k)} \in R^P$ – вектор входов, $\tilde{y}^{(k)} \in R^Q$ – вектор выходов, $y_q(w, x^{(k)})$ – q -й выход модели для вектора $\tilde{x}^{(k)}$ обучающего множества, $\tilde{y}_q^{(k)}$ – q -й элемент вектора указаний учителя k -й строки обучающего множества. Для обучения могут быть применены методы глобальной оптимизации, т.к. требуется учет многоэкстремального характера функционала. Были разработаны методы, учитывающие особенности задачи обучения на основе декомпозиционного метода и линейно-нелинейного соотношения (ЛНС) и на основе методов интервального анализа.

Основой декомпозиционного метода обучения НСМ является разбиение вектора весов на линейно входящие u и нелинейно входящие веса v . В этом методе используется ЛНС, позволяющее безытерационным способом вычислять оптимальные значения линейно входящих весов с помощью псевдообращения. Вместо функционала (2) оптимизируется модифицированный функционал качества, зависящий от нелинейно входящих весов v :

$$\mathfrak{J}(v) = \left\| \Psi(v) \Psi(v)^+ \tilde{y} - \tilde{y} \right\|^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $\Psi(v)$ – матрица выходов НПЭ последнего скрытого слоя. Результаты исследований по применению данного метода приведены в [3].

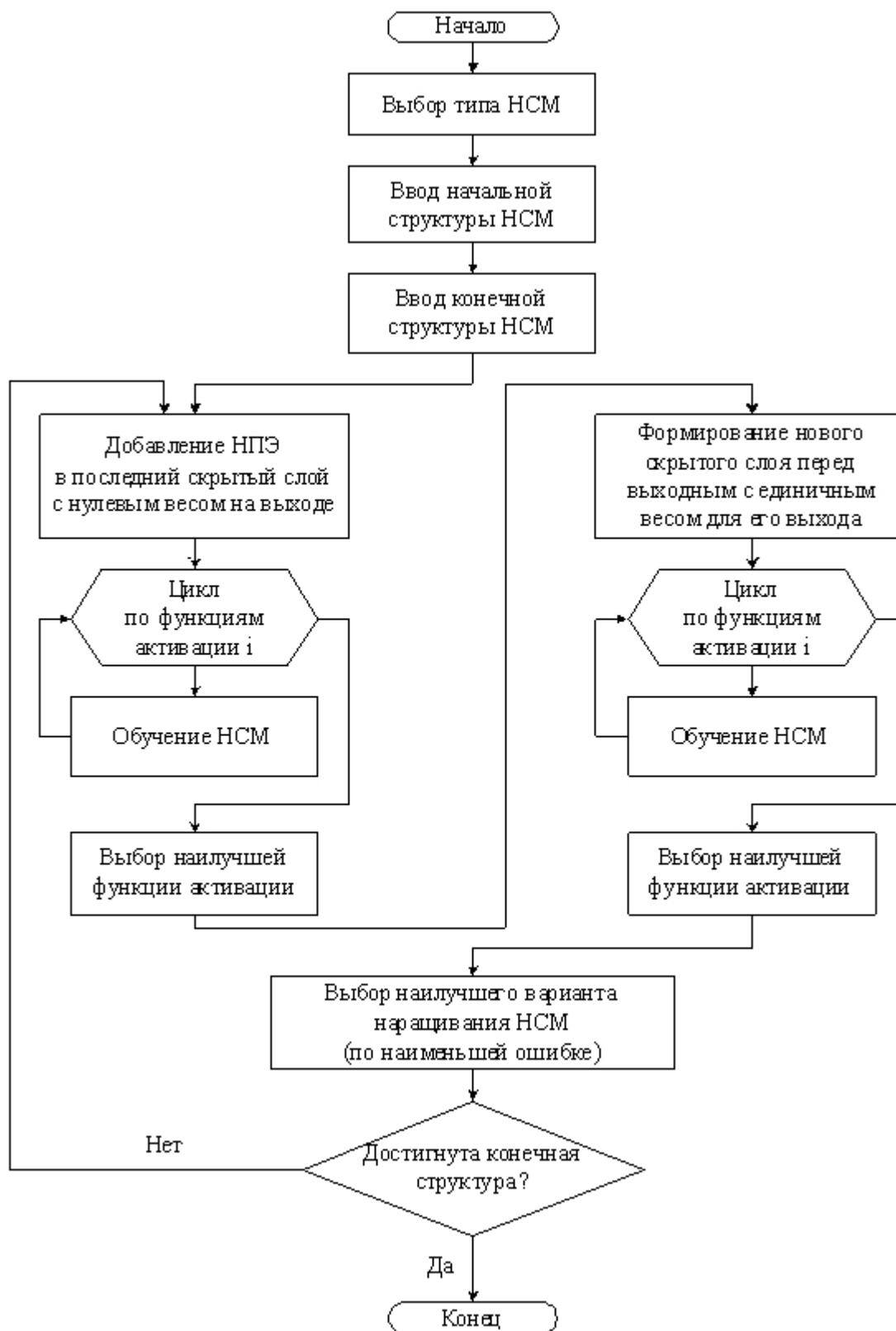


Рис. 2. Алгоритм конструирования НСМ

Для гарантированного обучения НСМ могут быть применены методы, основанные на технике интервального анализа [4, 5]. Это достигается путем применения

детерминированных методов оценивания диапазона изменения функционала (2) на заданном интервальном диапазоне изменения весов. Разделение области изменения весов на более мелкие позволяет более точно рассчитать диапазон изменения функционала. Анализ эффективности применение интервальных методов обучения НСМ и их сравнительного анализа с традиционными методами обучения можно найти в [6, 7].

На основе разработанных методов была построена НСМ для прогнозирования дефектов горячекатаной продукции в зависимости от комплекса технологических параметров разлива стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) конвертерного цеха. Объем данных составил 16628 строк. Исходное количество факторов составляло 227. После предварительного анализа факторов, состоящего в корреляционном анализе, остался 91 фактор. На этом этапе удалялись из рассмотрения факторы с высокой корреляционной зависимостью. Первично представленные факторы, влияющие на возможность возникновения дефект продукции, были проанализированы и преобразованы с помощью факторного анализа в 38 новых факторов. Часть из этих 38 факторов получалась путем применения факторного анализа, использующего метод главных компонент [8], оставшиеся представляют собой исходные факторы, значимо не вошедшие не в один из новых факторов.

В качестве выхода использовалось значение 0 для проката без дефектов и 1 для проката с дефектами. Входные данные были нормированы в диапазон [0;1]. Для решения задачи строилась НСМ, выход которой сравнивался с пороговым значением T , при превышении которого моделировалось появление дефекта.

Чтобы получились более качественные результаты, проводилось обучение взвешенной функции с весом w для строк с дефектами. Это позволило учесть неоднородность представленной входной информации.

На основе алгоритма конструирования, представленного на рис. 2, была построена НСМ

$$y = w_0 + \sum_{i=1}^6 w_i \sigma_i \left(w_{i0} + \sum_{j=1}^{38} w_{ij} x_j \right),$$

где σ_i – функции активации.

Результаты классификации на тестовом множестве показаны в табл. 1.

Табл. 1. Результаты классификации дефектов горячекатаной продукции

Реальный класс	Модельный класс		Точность
	0	1	
0	13658	1688	0,89
1	681	574	0,46
Итого			0,86

Адекватность построенной НСМ на данных, не входящих в тестовое множество, составила 72 %.

Список литературы

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации.– М.: Финансы и статистика, 2002.– 344 с.
2. Сараев П.В. Развитие нейросетевого моделирования сложных систем на основе нейроструктурного подхода // Вести ВУЗов Черноземья, 2012.– №2(28).– С.30-35.
3. Сараев П.В. Использование псевдообращения в задачах обучения искусственных нейронных сетей // Электронный журнал "Исследовано в России", №29, 2001.– С. 308-317.– <http://zhurnal.apc.relarn.ru/articles/2001/029.pdf>
4. Кулиш У., Рац Д., Хаммер Р., Хокс М. Достоверные вычисления. Базовые численные методы. — РХД, 2005.
5. Сараев П.В. Численные методы интервальной оптимизации в нейросетевом моделировании [Текст] // Вести ВУЗов Черноземья, 2011.– №2(24).– С.30-34.
6. Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. Прикладной интервальный анализ.– М.– Ижевск: Изд-во «РХД», 2005.– 468 с.
7. Saraev P. V. Numerical methods of interval analysis in learning neural network // Automation and Remote Control. – 2012. – Vol. 73. – № 11. – P. 1865-1876.
8. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. Изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА НА ДВУХКОЛЕСНОМ ТРАНСПОРТНОМ СРЕДСТВЕ

М.Е. Семенов

СТИ НИТУ "МИСиС";

А.Г. Рукавицын, Е.А. Фомина

Воронежский Государственный Университет

mk1150@mail.ru

a.rukavitsyn@gmail.com

lena246323@yandex.ru

***Аннотация.** В последние годы многие исследования были сосредоточены на проблемах управления перевернутым маятником на двухколесном транспортном средстве, эти исследования имеют потенциальные перспективы применения во многих областях, таких, как транспорт и разведка, в связи с компактной конструкцией, удобством эксплуатации, высокой маневренностью и низким расходом топлива, таких средств управления. Тем не менее, рассматриваемая задача еще далека от окончательного решения. В настоящей работе рассматривается стабилизация перевернутого маятника на двухколесной тележке, управляющим воздействием на которую являются крутящие моменты. Рассматриваемая система имеет 3 степени свободы: угол наклона маятника, продольные и вращательные перемещения мобильной платформы.*

***Ключевые слова:** перевернутый маятник, двухколесная тележка, степень свободы, адаптивное управление, стабилизация.*

FEEDBACK STABILIZATION OF A PENDULUM ON TWO-WHEELERS

M.E. Semenov,

STI NUST "MISiS"

A.G. Rukavitsyn, E.A. Fomina

Voronezh State University

***Abstract.** In recent years, many studies have focused on the problems of the inverted pendulum control on two-wheelers, these studies have potential application prospects in many areas, such as transport and intelligence, due to its compact design, ease of use, high maneuverability and low*

fuel consumption, such controls. Nevertheless, the problem is still far from a final decision. In this paper we consider the stabilization of the inverted pendulum on a two-wheeled cart, the control action which are torques. The system has three degrees of freedom: the pendulum angle, longitudinal and rotational movement of the mobile platform.

Keywords: *inverted pendulum, two-wheeled cart, the degree of freedom, adaptive control, stabilization.*

1. Введение

Известно, что многие традиционные технические устройства имеют как устойчивые, так и не устойчивые состояния и режимы работы. Характерный пример – асинхронный электродвигатель.[1] Его характеристики, связанные с потреблением энергии из электрической сети не оптимальные. Несколько лет назад возникла идея так называемого «векторного» управления асинхронным двигателем, когда задавая, частоту и начальные фазы трехфазного напряжения питания двигателя, поддерживают его в неустойчивом режиме, близком к критическим значениям скольжения.[2] Это позволяет получить возможность тонкого управления частотой вращения асинхронным двигателем при одновременной оптимизации энергетических его характеристик.

Естественно, при проектировании системы управления неустойчивым объектом необходимо позаботиться о том, чтобы при потере устойчивости, вызванной той или иной причиной, срабатывала система защиты и сигнализации, обеспечивающая минимизацию потерь, связанных с таким инцидентом.

Важной задачей управления является поддержание вертикального положения антропоморфных технических устройств (роботов, киберов и т.п.).[3] Аналогичную задачу решает система управления человека, поддерживая его на ногах, или когда человек держит на руке длинную рейку. Последний пример, обуславливает значимость задачи стабилизации систем, подобным обратному маятнику в вертикальном положении, могут быть исследованы путем моделирования т.е. обратного маятника. Эта задача решается посредством моделирования, управления неустойчивым объектом. Также, как мотоциклом можно управлять посредством поворотов руля, маятник управляется путем перемещения тележки, на которую он опирается.

2. Постановка задачи. Адаптивные параметры.

В настоящей работе рассматривается механическая система, состоящая из двухколесной тележки на оси, которой располагается обратный маятник. Задача заключается в формировании такого управляющего воздействия, которое, с одной стороны, обеспечивало

бы, заданный закон движения механического средства, а с другой, стабилизировало бы неустойчивое положение маятника. Ниже графически представлены элементы, изучаемой механической системы - двухколесного транспортного средства с закрепленным на нем обратным маятником.

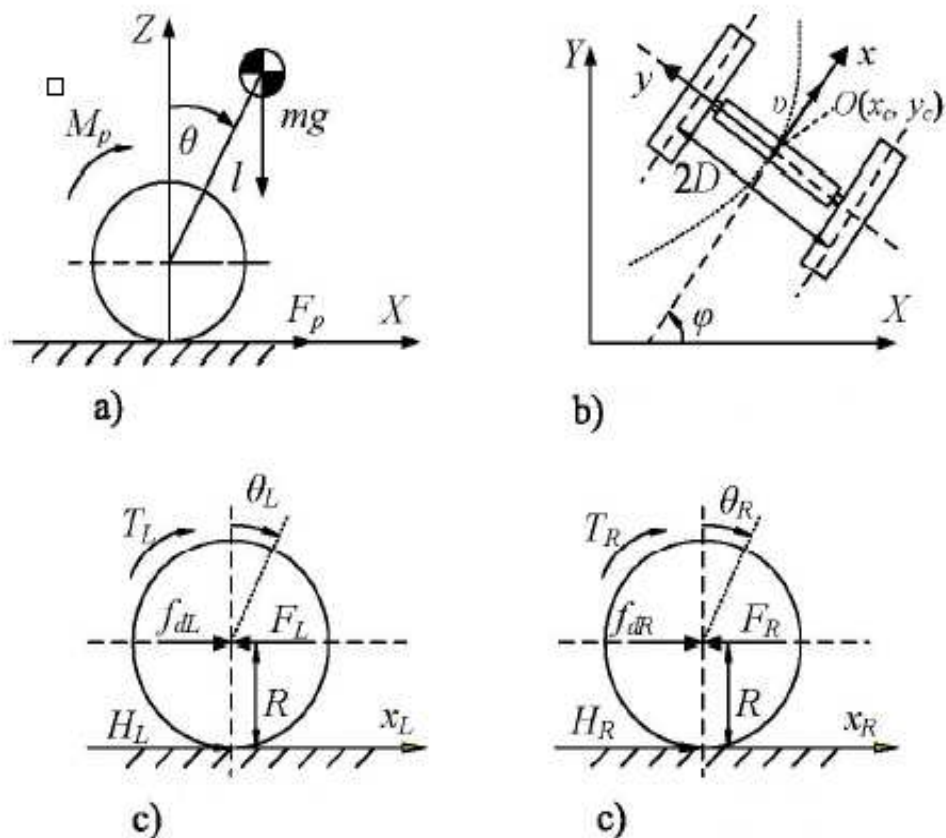


Рис.1- Перевернутый маятник на двухколесной тележке.

Параметры и переменные описывающие рассматриваемую систему:

φ - угол поворота транспортного средства;

D - расстояние между двумя колесами вдоль центра оси;

R - радиус колес;

J_φ - момент поворота угла транспортного средства;

T_ω - разность крутящих моментов левого и правого колес;

v - продольная скорость транспортного средства;

θ - угол наклона маятника;

m - масса перевернутого маятника;

l - расстояние между центром тяжести тела и осью колеса;

T_v - Сумма крутящих моментов левого и правого колес;

x - перемещение транспортного средства по направлению продольной скорости;

M - масса шасси;

M_ω - масса колес;

Будем считать заданным, желаемый закон изменения параметров системы:

$$\varphi_d = \varphi_d(t), \theta_d = \theta_d(t), X_d = X_d(t); \quad (1)$$

Модель описывающую динамику изменения параметров системы можно представить в виде двух независимых подсистем. Первая подсистема состоит из одного уравнения- φ - подсистемы, определяющего угловые движения транспортного средства:

$$\ddot{\varphi} = \frac{D}{2RJ_\varphi} T_\omega, \quad (2)$$

где $T_\omega = T_L - T_R$;

Уравнение (2) можно переписать в виде системы из двух уравнений:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = e_1 \\ \dot{e}_1 = \frac{D}{2RJ_\varphi} T_\omega - \ddot{\varphi}_d \end{cases} \quad (3)$$

Вторая подсистема описывающая радиальные движения транспортного средства, а также колебания, установленного на ней маятника состоит из двух уравнений:

$$\begin{cases} \dot{v} = \frac{1}{\Omega} [J_\theta m l \dot{\theta}^2 \sin \theta - m^2 l^2 g \sin \theta \cos \theta] + \frac{J_\theta}{\Omega R} T_v \\ \ddot{\theta} = \frac{1}{\Omega} [M_x m g l \sin \theta - m^2 l^2 \dot{\theta}^2 \sin \theta \cos \theta] - \frac{m l \cos \theta}{\Omega R} T_v \end{cases} \quad (4)$$

где $T_v = T_L + T_R$;

Систему (6) удобно представить в виде системы уравнений первого порядка:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{e}_3 = e_4 \\ \dot{e}_4 = \frac{1}{\Omega_0} [J_\theta ml(\dot{\theta}_d + e_6)^2 \sin(e_5 + \theta_d) - \\ - m^2 l^2 g \sin(e_5 + \theta_d) \cos(e_5 + \theta_d)] + \frac{J_\theta}{\Omega_0 R} T_v - \ddot{x}_d \\ \dot{e}_5 = e_6 \\ \dot{e}_6 = \frac{1}{\Omega_0} [M_x mgl \sin(e_5 + \theta_d) - m^2 l^2 (\dot{\theta}_d + e_6)^2 \sin(e_5 + \theta_d) \cos(e_5 + \theta_d)] - \\ - \frac{ml \cos(e_5 + \theta_d)}{\Omega_0 R} T_v - \ddot{\theta}_d \end{array} \right. \quad (5)$$

где $\Omega_0 = M_x J_\theta - m^2 l^2 \cos^2(\theta_d + e_5)$;

Управляющими воздействиями на системы (3) и (5) будем считать T_ω -разница крутящих моментов на колесах тс и T_v – суммарный крутящий момент на колесах транспортного средства:

$$T_w = \frac{D}{2RJ_\varphi} [\ddot{\varphi}_d - c_1 \dot{e}_1 - k_1 \operatorname{sgn}(s_1) - k_2 s_1], \quad (6)$$

где k_1, k_2, c_1 - положительно заданные параметры.

Для синтеза управления системы (3) будем считать параметр $\alpha = \frac{D}{2RJ_\varphi}$ - адаптивным.

Подчиним закон его изменения уравнению:

$$\dot{\alpha} = -\lambda_{11} s_1 (\ddot{\varphi}_d - c_1 \dot{e}_1). \quad (7)$$

$$\begin{aligned} T_v = & -Rml(\dot{\theta}_d + e_6)^2 \sin(e_5 + \theta_d) + \frac{m^2 l^2 g}{J_\theta} \sin(e_5 + \theta_d) \cos(e_5 + \theta_d) - \\ & - \frac{\Omega_0 R}{J_\theta} [c_2 \dot{e}_3 - \dot{v}_d + k_3 \operatorname{sgn}(s_2) + k_4 s_2] \end{aligned} \quad (8)$$

Для синтеза управления системы (5) будем считать параметры

$$\beta_1 = Rml; \beta_2 = \frac{m^2 gl}{J_\theta}; \beta_3 = \frac{\Omega_0 R}{J_\theta} - \text{адаптивно-настраиваемыми.}$$

Изменения адаптивных параметров подчиним следующей системе:

$$\dot{\beta}_1 = \lambda_{21} s_2 (\dot{\theta}_d + e_6)^2 \sin(e_5 + \theta_d), \quad (9)$$

$$\dot{\beta}_2 = -\lambda_{22} s_2 \sin(e_5 + \theta_d) \cos(e_5 + \theta_d), \quad (10)$$

$$\dot{\beta}_3 = -\lambda_{23} s_2 (\dot{v}_d - c_2 \dot{e}_3), \quad (11)$$

где $\lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}$ - положительные параметры; $s_2 = \dot{e}_3 + c_2 e_3$, где c_2 - положительный параметр.

3. Функция Ляпунова

Основным результатом работы является формулируемые ниже теоремы об устойчивости систем (2) и (5).

Для доказательства устойчивости системы (2) воспользуемся функцией Ляпунова.

Теорема 1. Рассмотрим подсистему (3) с адаптивным управляющим воздействием (6) и адаптивным законом изменения параметров (7). Все сигналы в системе с обратной связью являются ограниченными и ошибки моделирования сходятся асимптотически к нулю, т.е.

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \|e_1\| &\rightarrow 0 \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \|e_2\| &\rightarrow 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Доказательство: определим функцию Ляпунова как:

$$V_1 = \frac{1}{2} \alpha s_1^2 + \frac{1}{2\lambda_1} \alpha^2 \quad (13)$$

$$\dot{V}_1 = \alpha s_1 \dot{s}_1 + \frac{1}{\lambda_1} \alpha \dot{\alpha} \quad (14)$$

Подставляя (4) и (5) в \dot{V} , получаем:

$$\dot{V} = -k_1 |s_1| - k_2 s_1^2 \quad (15)$$

Очевидно, что $\dot{V}_1 \leq 0$, теорема доказана. Согласно Теореме Ляпунова об устойчивости, можно сделать вывод, что система (2) является асимптотически устойчивой.

Для доказательства устойчивости системы (5) воспользуемся также методом функций Ляпунова.

Теорема 2. Рассмотрим подсистему (5) с адаптивным управляющим воздействием (8) и адаптивным законом (9-11). Все сигналы в системе с обратной связью являются ограниченными и ошибки моделирования сходятся асимптотически к нулю, т.е.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|e_3\| \rightarrow 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|e_4\| \rightarrow 0 \quad (16)$$

Доказательство: определим функцию Ляпунова как:

$$V_2 = \frac{1}{2} \beta_3 s_2^2 + \frac{1}{2\lambda_{21}} \tilde{\beta}_1^2 + \frac{1}{2\lambda_{22}} \tilde{\beta}_2^2 + \frac{1}{2\lambda_{23}} \tilde{\beta}_3^2 \quad (17)$$

где $\tilde{\beta}_i = \hat{\beta}_i - \beta_i$. При это позволим $\hat{\beta}_i$ быть оценкой для β_i ($i=1,2,3$).

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \beta_3 s_2 \dot{s}_2 + \frac{1}{\lambda_{21}} \tilde{\beta}_1 \dot{\hat{\beta}}_1 + \frac{1}{\lambda_{22}} \tilde{\beta}_2 \dot{\hat{\beta}}_2 + \frac{1}{\lambda_{23}} \tilde{\beta}_3 \dot{\hat{\beta}}_3 = \\ &= s_2 [\beta_1 (\dot{\theta}_d + e_6)^2 \sin(e_5 + \theta_d) - \beta_2 \sin(e_5 + \theta_d) + T\omega - \beta_3 (\dot{v}_d - c_2 \dot{e}_3)] + \\ &+ \frac{1}{\lambda_{21}} \tilde{\beta}_1 \dot{\hat{\beta}}_1 + \frac{1}{\lambda_{22}} \tilde{\beta}_2 \dot{\hat{\beta}}_2 + \frac{1}{\lambda_{23}} \tilde{\beta}_3 \dot{\hat{\beta}}_3 = \\ &= s_2 [\hat{\beta}_1 (\dot{\theta}_d + e_6)^2 \sin(e_5 + \theta_d) - \hat{\beta}_2 \sin(e_5 + \theta_d) \cos(e_5 + \theta_d) T\omega - \hat{\beta}_3 (\dot{v}_d - c_2 \dot{e}_3)] - \\ &- s_2 \tilde{\beta}_1 (\dot{\theta}_d + e_6)^2 \sin(e_5 + \theta_d) + s_2 \tilde{\beta}_2 \sin(e_5 + \theta_d) \cos(e_5 + \theta_d) + s_2 \tilde{\beta}_3 (\dot{v}_d - c_2 \dot{e}_3) + \\ &+ \frac{1}{\lambda_{21}} \tilde{\beta}_1 \dot{\hat{\beta}}_1 + \frac{1}{\lambda_{22}} \tilde{\beta}_2 \dot{\hat{\beta}}_2 + \frac{1}{\lambda_{23}} \tilde{\beta}_3 \dot{\hat{\beta}}_3 \end{aligned} \quad (18)$$

Подставляя (8-11) в (18), получаем:

$$\dot{V}_2 = -k_3 |s_2| - k_4 s_2^2 \quad (19)$$

Очевидно, что $\dot{V}_2 \leq 0$, теорема доказана. Согласно Теореме Ляпунова об устойчивости, можно сделать вывод, что система (6) является асимптотически устойчивой.

4. Результаты. Численный анализ.

На рис.2-7 приведена зависимость всех e от времени. Рис.8 иллюстрирует динамику поведения адаптивных параметров. Значения констант и начальные условия приведены ниже:

$$m = 3; M = 5; M_{\omega} = 1; D = 1.5; R = 0.25; l = 0.2; J_{\omega} = 1.5; J_c = 5;$$

$$J_{\varphi} = 1.5; \varphi(0) = 0; x(0) = 0; \theta(0) = 0.2; v(0) = [\dot{\varphi}(0) \dot{x}(0) \dot{\theta}(0)]^T = [0, 0, 0.002]^T;$$

$$k_1 = k_3 = 0.5; k_2 = k_4 = 0.2; k_5 = 3; k_6 = 5; c_1 = c_2 = c_3 = 0.5;$$

$$\lambda_{11} = 5; \lambda_{21} = \lambda_{22} = \lambda_{23} = 10; \lambda_{31} = \lambda_{32} = 5.$$

Результаты моделирования приведены на следующих рисунках:

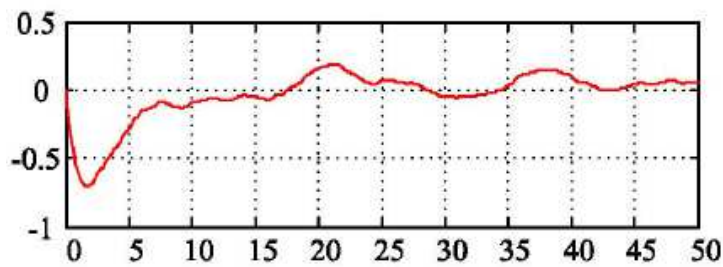


Рис.2- Зависимость e_1 от времени.

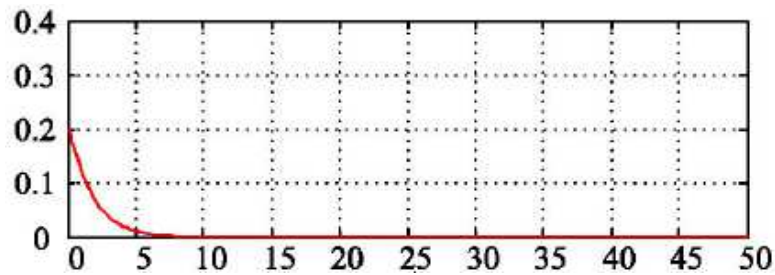


Рис.3- Зависимость e_2 от времени.

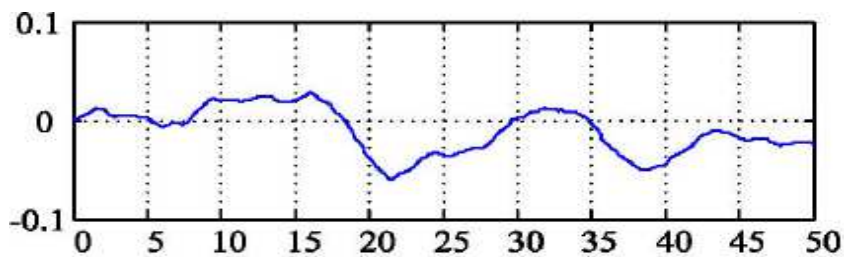


Рис.4- Зависимость e_3 от времени.

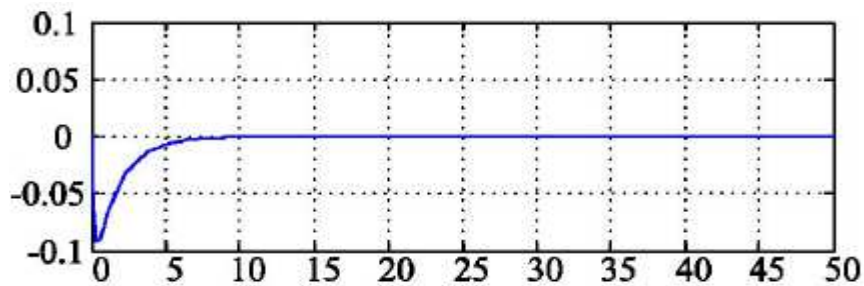


Рис.5- Зависимость e_4 от времени.

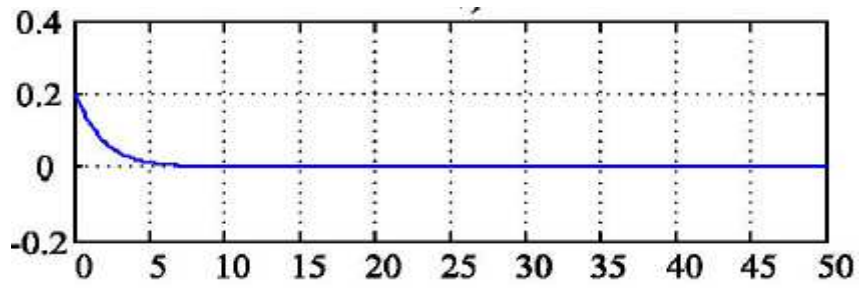


Рис.6- Зависимость e_5 от времени.

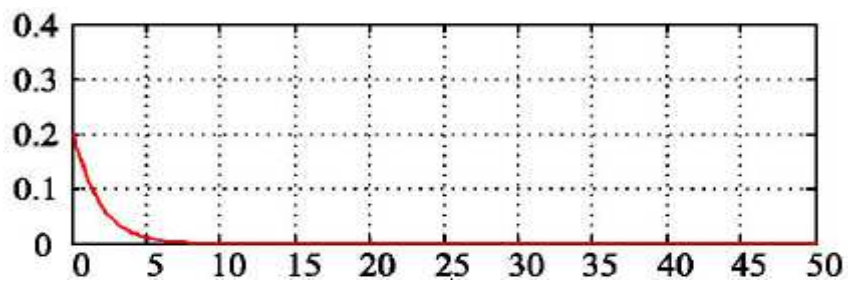


Рис.7- Зависимость e_6 от времени.

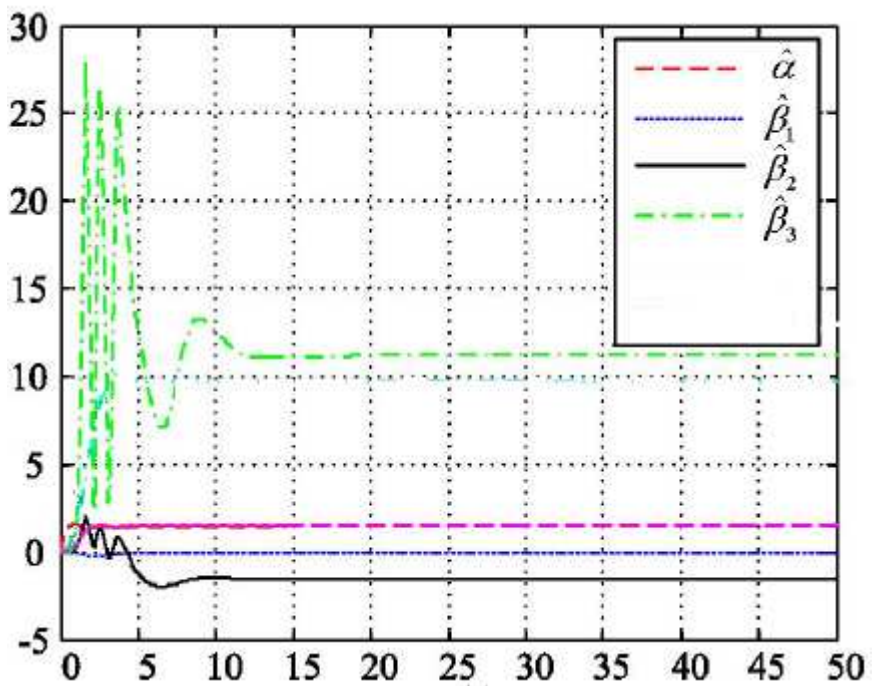


Рис.8- Зависимость адаптивных параметров систем (2) и (6) от времени.

Таким образом в работе получены следующие результаты. Оказалось, что посредством адаптивного управления удалось показать возможность стабилизации перевернутого маятника на двухколесной тележке.

Список литературы

1. Blajer, W., Kolodziejczyk, K.: Control of underactuated mechanical systems with servo-constraints. *Nonlinear Dynamics* 50(4), 781–791 (2007)
2. Chen, M., Wu, Q.X., Jiang, C.S.: Disturbance-observer-based robust synchronization control of uncertain chaotic systems. *Nonlinear Dynamics* 74(4), 2421–2432 (2012)
3. She, J.H., Zhang, A.C., Lai, X.Z., Wu, M.: Global stabilization of 2-dof underactuated mechanical systems-an equivalent-input-disturbance approach. *Nonlinear Dynamics* 69(1-2), 495–509 (2012)
4. Семенов М.Е. Стабилизация перевернутого маятника вертикальными осцилляциями с помощью гистерезисного управления/, М.Е. Семенов, Д. В. Шевлякова, О. И. Канищева, Д. В. Грачиков// *Научные технологии* № 3. 2012. – С. 23-31.
5. М.Е. Semenov, D.V. Shevlyakova, P.A. Meleshenko. Inverted Pendulum under hysteretic control: stability zones and periodic solutions. // Springer Science + Business Media Dordrecht/ *Nonlinear Dynamics* 2014, Vol. 75, Issue 1, pp 271-281.
6. Грачиков Д.В. Стабилизация, рассинхронизация и оптимальное управление обратным маятником с гистерезисными свойствами / Грачиков Д.В., Лебедев Г.Н., Семенов М.Е., Канищева О.И.// *Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии*, 2013, № 1 – С. 29-37.
7. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы – СПб.: Питер, 2006 – 272 с.
8. Капица, РЛ: Маятник с вибрирующим подвесом. *УФН. Физ. Наук (на русском языке)* 44, 7 – 15 с. (1951).
9. Grachikov D.V. Stabilization and Control Models of Systems With Hysteresis Nonlinearities / Grachikov D.V., Semenov M.E., Mishin M.Y., Shevlyakova D.V. // *European Researcher* . 2012. – Vol. (20) № 5-1., pp. 523-528.
10. Грачиков Д.В. Стабилизация перевернутого маятника вертикальными осцилляциями с помощью гистерезисного управления/ Д.В. Грачиков, М.Е. Семенов, Д.В. Шевлякова, О.И. Канищева // *Научные технологии*. – 2013. – № 3. – С. 27-34.

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЯ ТОВАРА ЗАО
«БЕЛСТАР-ФАРМ»**

А.Г.Симонова, Т.И. Лазарева, Е.Н.Шафоростова

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол

Аннотация. В статье в контексте повышения качества эффективности работы автоматизированной информационной системы движения товара анализируются задачи информационных потоков. Рассматривается формирование автоматизированного движения товара, определяется рейтинг поставщиков по критериям работы с ним.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, информационные системы поддержки принятия решений.

**DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM FOR A PRODUCT ACCOUNTING ZAO
«BELSTAR-FARM»**

A.Simonova, T.Lasareva, E.Shaforostova

Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of
Science and Technology "MISiS", Sary Oskol

Abstract. In the article in a context of improving the quality of the efficiency of the automated information system for a product accounting analyzed the problem of information flow. Formation the automated information system for a product accounting is under consider, determined the rating of suppliers by the criteria to work with them.

Keywords: automated control systems, decision making process support system.

Автоматизация процессов аптечной деятельности и использование информационных технологий (ИТ) в последние годы явились одним из рычагов для активного развития фармацевтической отрасли. Современные тенденции увеличения коммерческого сегмента в аптечном бизнесе, усиление конкуренции, рост количества аптечных сетей приводят к тому, что нормальное функционирование и развитие аптеки уже неэффективно без использования такого инструмента, как ИТ. Их внедрение способствует обеспечению высокой скорости и

оперативности работы и, что особенно важно, повышению прибыли, все это позволяет аптекам выживать в условиях постоянной конкуренции.

Организация ЗАО «Белстар-фарм» занимается розничной торговлей фармацевтическими товарами. Услуги организации в Старом Осколе реализуются на базе одной аптеки и двух аптечных пунктов. На рисунке 1 представлена схема информационных потоков в аптечной сети ЗАО «Белстар-фарм».

На данный момент на предприятии можно определить следующие факторы, которые ухудшают качество и производительность предприятия при работе с заказом товара у поставщиков и дальнейшим его движением:

- несовершенство процессов сбора, передачи, обработки и выдачи информации. Работник вынужден работать с несколькими программными продуктами («Аналит-ФАРМАЦИЯ» и «ИнфоАптека») и через фирму посредника;
- обработка собранной информации занимает много времени;
- из-за отсутствия рейтинговой системы работнику бывает сложно выбрать наилучшего поставщика;
- невозможность выгрузки накладных в 1С Предприятие.

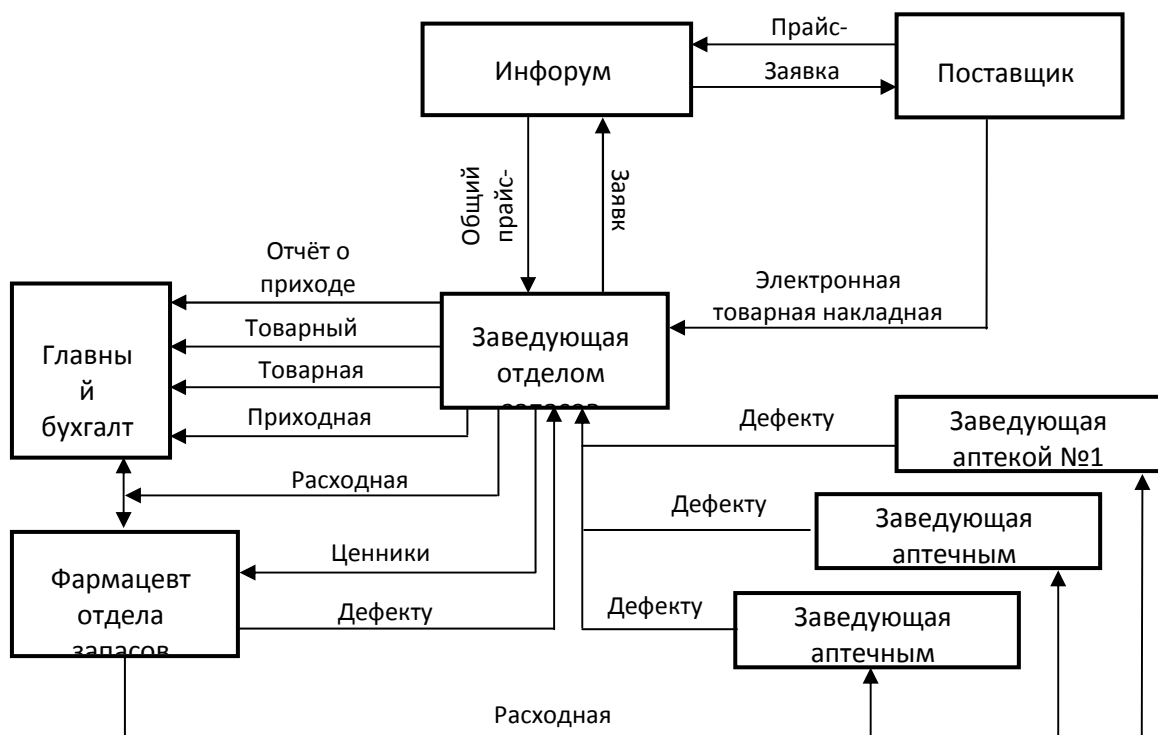


Рис 1. Схема информационных потоков

Недостатки могут быть устранены при помощи создания автоматизированной системы электронного заказа и движения товара в отделе запаса аптеки ЗАО «Белстар-

фарм», отвечающей требованиям работников предприятия занимающихся соответствующими операциями.

В целях будущей оптимизации закупочной деятельности организации необходима возможность оценки поставщиков, для того чтобы решить, кому следует отдать предпочтение. Для определения рейтинга поставщиков предлагается использовать метод оценки поставщиков по результатам работы.

В оценку рейтинга поставщика закладываются критерии работы с ним, важнейшие для конкретного предприятия. Необходимо определить, какое конкретно значение (весовой коэффициент) имеет каждый критерий для организации. Вводится система оценки этих критериев, а затем каждый поставщик оценивается по выставленным критериям.

В таблице 1 представлены наиболее важные для аптеки ЗАО «Белстар-фарм» критерии, их оценки по десяти бальной шкале и их значимость (весовые коэффициенты).

Таблица 1.

№ п/п	Наименование критерия	Весовой коэффициент	Возможные градации оценок	Оценка, в баллах
1	Срок доставки	0.15	на следующий день через 1 день через 2 дня больше двух дней	10 7 3 0
2	Широта ассортимента (количество наименований)	0.15	больше 5000 от 3000 до 5000 от 1000 до 3000 меньше 1000	10 7 3 0
3	Сумма минимального заказа, (руб)	0.10	0 больше 1000 больше 2000 больше 3000 больше 4000	10 8 5 3 0
4	Наличие сертификата на товар	0.15	да нет	10 0
5	Наценка на товар	0.2	меньше 3 % от 3 % до 5 % от 5 % до 10 % больше 10 %	10 7 3 0

6	Работа с производителем	0.10	на прямую через посредника	10 0
7	Сроки оплаты	0.15	отсрочка на 42 дня отсрочка на 28 дня отсрочка на 14 дня предоплата	10 7 3 0

Рейтинг определяют суммированием произведений весового коэффициента критерия на его оценку для данного поставщика.

Сумма весовых коэффициентов должна равняться 1, формула 1:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (1)$$

где:

α_i – весовой коэффициент i -го критерия;

$n = 7$ – количество критериев.

Рейтинг вычисляется по формуле 2:

$$R_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot o_{ij} \quad (2)$$

где:

R_j – рейтинг j -го поставщика;

o_{ij} – экспертная оценка i -го критерия для j -го поставщика.

Рассчитав рейтинг разных поставщиков и сравнив полученные результаты, определяют наилучшего партнера.

При таком расчете возможны варианты, когда выгодные с точки зрения цены на товар или срока оплаты поставщики получают меньше баллов, чем по другим не менее важным критериям (срок доставки, широта ассортимента и т.п.) и в результате проигрывают в рейтинге. В этом, на первый взгляд, несоответствии, тем не менее, есть своя логика. Долгий срок доставки или срыв поставок — все это ведет к перерасходу денежных средств, поэтому акцентирование внимания при выборе поставщика только на ценах неверно.

На рис. 2 представлен алгоритм формирования рейтинга поставщика.

Разработка собственной информационной системы организации позволит получить:

- удобный и быстрый способ обмена информацией с поставщиками напрямую, минуя посредников;

- введение рейтинговой системы для оценки качества поставщиков;
 - автоматическая подборка наилучшего поставщика на конкретный товар по цене и рейтингу поставщика;
 - работа с накладными;
 - формирование цен;
 - создание ценников;
 - формирование отчётов по движению товара;
 - выгрузка накладных в бухгалтерскую программу;
- единую программу для заказа товара и работы с накладными.

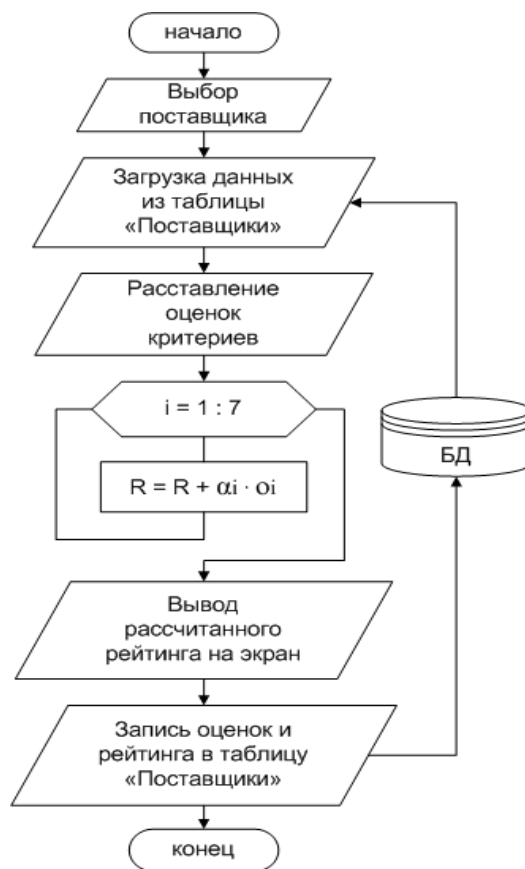


Рис. 2. Алгоритм формирования рейтинга поставщиков

Список литературы

1. Гусев А. В., Дуданов И. П., Романов Ф. А., Дмитриев А. Г. Особенности в проектировании и практической разработке медицинской информационной системы и информационные технологии, - 2004. - №5. - С.49-56 //Врач

2. Гусев А.В. Моделирование и оценка эффективности функционирования медицинской информационной системы // Автореф., дис. к-та тех. наук: 05.13.18/ Петрозавод. гос. ун-т – Петрозаводск.: Изд-во ПетрГУ

3. Назаренко Г.И., Гулиев Я.И., Ермаков Д.Е. Медицинские информационные системы: теория и практика / Под ред. Г.И. Назаренко, Г.С. Осипова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с.

УДК 519.2

О ВОЗМОЖНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ БЕТА-РИТМОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

А.Ю. Соловьев, П.В. Толоконников

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
solovyov.anton@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена возможность выявления бета-ритмов в сигналах электрической активности головного мозга. Для идентификации бета-ритмов предлагается использование метода сингулярно-спектрального анализа, обладающего возможностью управления процессом фильтрации на этапах разложения и восстановления сигнала по интерпретируемым компонентам. Что, соответственно, дает возможность перехода к более глубокому анализу биогенных сигналов.

Ключевые слова: метод сингулярно-спектрального анализа, электроэнцефалограммы, ритмы головного мозга, бета-ритмы

ON THE POSSIBILITY OF BRAIN BETA-RHYTHM IDENTIFICATION BY SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS METHOD

A.J. Solovyov, P.V. Tolokonnikov

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol
solovyov.anton@gmail.com

Abstract. The article discusses the possibility of beta rhythms detection in signals of the brain electric activity. The method of singular spectral analysis is used for identification of beta rhythms.

It has the ability to control the process of filtering stages of decomposition and recovery signal interpretable components. In its turn, that allows to obtain a deeper analysis of biogenic signals.

Keywords: *The method of singular spectral analysis, EEG, brain rhythms, beta rhythms*

1. Введение

Электроэнцефалография – это способ исследования электрической активности отдельных участков мозга человека и животных и всего мозга в целом, возникающих в процессе его работы. Способ на суммарной регистрации биоэлектрической активности отдельных зон, областей, долей мозга. ЭЭГ применяется в современной нейрофизиологии, а также в неврологии и психиатрии

Одной из задач анализа электроэнцефалограмм, помимо очистки от шумов, является выявление различных ритмов мозговой активности человека. Так, например, существуют следующие ритмы: бета-ритм, бета-ритм, гамма-ритм, дельта-ритм. Все они имеют разную структуру и поведение, выявление которых представляется далеко не тривиальной задачей. В настоящее время выявление подобных ритмов проводится при помощи экспертов-врачей или при помощи компьютерных методов, но эти методы не всегда дают точный результат. Поэтому исследования методов, позволяющих повысить точность анализа электроэнцефалограмм, являются важной и актуальной задачей.

2. Бета-ритмы

Бета-ритм(β) мозга — характеризуется частотой от 15 до 40 Гц, присущей состоянию активного бодрствования. Наиболее сильно этот ритм выражен в лобных областях, но при различных видах интенсивной деятельности резко усиливается и распространяется на другие области мозга. Так, выраженность бета-ритма возрастает при предъявлении нового неожиданного стимула, в ситуации внимания, при умственном напряжении, эмоциональном возбуждении.



Рис. 1. β -Ритм здорового человека

3. Описание эксперимента по выявлению бета-ритмов

Для идентификации бета-ритма в электроэнцефалограммах мы воспользовались аппаратом сингулярно-спектрального анализа.

Суть метода сингулярно-спектрального анализа заключается в преобразовании одномерного временного ряда в многомерный. После чего производится сингулярное разложение данного многомерного ряда с применением метода главных компонент. То есть, по сути, происходит разложение временного ряда не по заранее известному базису, как например, в преобразовании Фурье, а по базису, «продиктованному» природой самого временного ряда, тем самым позволяя более качественно очистить ряд от шумовых компонент, выявить тренды и периодики по сравнению с традиционными методами. Преимущество метода Гусеницы заключается в возможности управления процессом фильтрации на этапах разложения и восстановления сигнала по интерпретируемым компонентам, что, соответственно, дает возможность к более глубокому анализу биржевых процессов. Более подробное описание метода приведено в [1].

В [2-3] приводилась процедура очистки электроэнцефалограммы при помощи метода сингулярно-спектрального анализа. Данный метод показал существенную эффективность по сравнению с такими традиционными методами, как преобразование Фурье и вейвлет-анализ. Поэтому дальнейший эксперимент по выявлению бета-волн будет так же проходить с использованием метода сингулярно-спектрального анализа.

Для проведения исследований в качестве исходных данных модели были использованы биомедицинские сигналы от компьютерного электроэнцефалографа, имеющего 21 канал для записи ЭЭГ с частотой дискретизации 5 кГц. Реализация моделей осуществлена путём создания соответствующих алгоритмов и компьютерной программы.

Для исследования был выбран очищенный от шумов ряд полученной с лобной части размером 3400 точки.

При разложении были выбраны следующие параметры: на 3400 точек временного ряда, была взята длина окна равная 100.

После этого был совершен отбор компонент временного ряда, которые должны отвечать поведению бета-ритма головного мозга. Подбор проводился следующим образом: выбирались компоненты, по ним восстанавливался временной ряд и сравнивался экспертом с эталонным образцом бета-ритма здорового человека. После ряда действий были отобраны компоненты, восстановление которых наиболее близко моделирует бета-ритм мозга. На рис.2 представлены эти компоненты

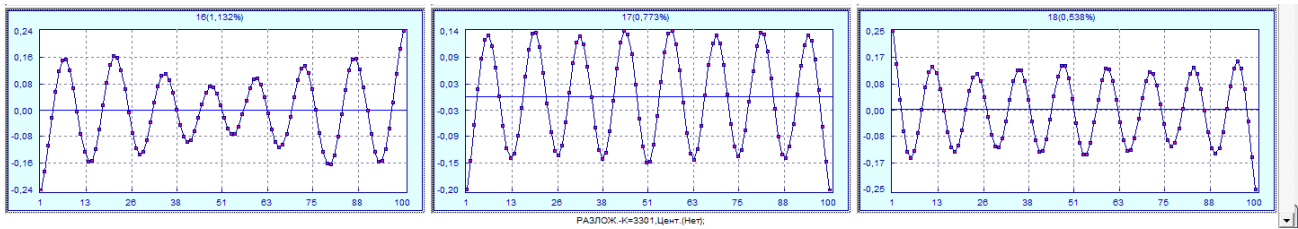


Рис. 2 Компоненты описывающие моделирование бета-ритма

Далее было произведено восстановление электроэнцефалограммы по выбранным компонентам. На рис.3 приведен восстановленный временной ряд.

Как видим ряд имеет явное сходство с бета-ритмом мозга здорового человека.

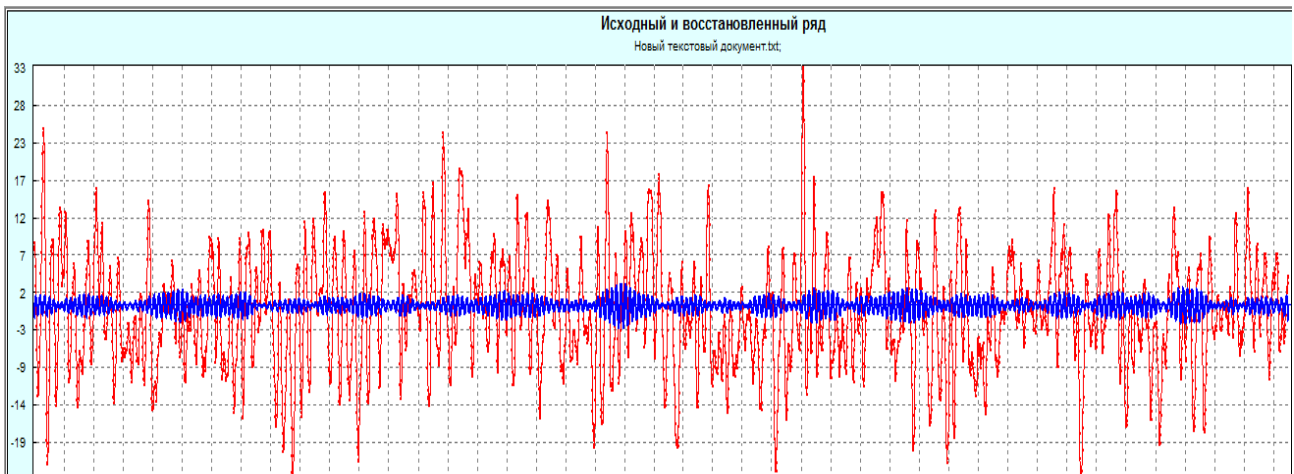


Рис.3 Восстановленный временной ряд

Так же отметим, что далее брались другие электроэнцефалограммы, полученные с затылочной области различных испытуемых. Каждая из них была проанализирована и при разложении каждой, компоненты, имеющие схожую структуру, были отобраны для идентификации бета-ритма мозга. При восстановлении таких рядов и дальнейшей оценки эксперта, выяснилось, что все они верно идентифицируют бета-ритм. Это подтверждает возможность использования аппарата сингулярно-спектрального анализа для идентификации бета-ритма мозга.

4. Заключение

В работе показано, что метод сингулярно-спектрального анализа позволяет качественно идентифицировать бета-ритм головного мозга.

Практическим результатом является демонстрация возможности использования модели сингулярно-спектрального анализа для исследования различных видов зависимостей в ЭЭГ и выявления ряда новых физиологически значимых феноменов ЭЭГ и других ритмов головного мозга, дальнейшее изучение которых представляет существенный интерес.

Список литературы

1. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. Пособие. Спб., 2004. – 76 с.
2. Матвеев М.Г., Семенов М.Е., Толоконников П.В., Соловьев А.Ю. Применение метода сингулярно-спектрального анализа для идентификации сигналов электрической активности мозга //Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2012. № 2. С. 42-47.
3. Соловьев А.Ю., Толоконников П.В. Применение метода сингулярно-спектрального анализа в обработке электроэнцефалограмм головного мозга // Перспективы развития информационных технологий. - 2014. - № 18. - С. 46-51.

УДК 621.3.04.

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ МАГНИТНОГО ЭКРАНА КАТУШЕК ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ ER2 СТАНА 350 ОАО «ОЭМК»

В.В Сотников

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол

VV_Sotnikov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен магнитный экран катушек динамической компенсации, используемых на ОЭМК. Проанализированы возможные причины недостаточной эффективности: наличие немагнитных промежутков, снижение магнитной проницаемости, возможное насыщение стенок экрана. Показано, что конструкция обладает рядом других недостатков: ухудшает охлаждение, может увеличить индуктивность катушки. Предложены пути повышения эффективности экранирования.

Ключевые слова: катушка, магнитное поле, магнитный экран.

CRITICAL ANALYSIS OF DESIGN OF MAGNETIC SCREEN FOR DYNAMIC POWER FACTOR COMPENSATOR COILS IN ELECTRICAL ROOM ER2 AT ROLLING MILL 350 JSC OEMK

V.V. Sotnikov

Abstract. *The magnetic screen for dynamic power factor compensator coils used at OEMK is examined. Possible reasons for insufficient efficiency are analyzed: presence of non-magnetic gaps, reduction of permeability, possible saturation of screen walls. It is proved that design has number of other disadvantages: worsen cooling conditions, possibly increase coil inductance. The ways of improving efficiency are proposed.*

Keywords: *coil, magnetic field, magnetic screen.*

Снижение уровня внешних магнитных полей катушек различного назначения – весьма актуальная и сложная задача, решение которой наряду с обеспечением электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств и позволяет соблюсти требования санитарных норм. По мере развития предприятий проблема ЭМС может даже усугубляться, когда, например, в целях изменения первоначального проекта в помещениях, находящихся в зоне влияния интенсивных источников, возникает необходимость размещения обслуживающего персонала, а также чувствительной к воздействию полей аппаратуры, как это произошло на ОЭМК. В связи с этим исследования в области экранирования силового электрооборудования представляют интерес для специалистов и будут всегда актуальны в виду его разнообразия и конструктивной специфичности.

Метод экранирования широко используется для снижения ВМП различного электрооборудования. Имеется ряд публикаций, содержащих теоретические исследования различного типа экранов для катушек [1].

С физической точки зрения снижение уровня поля магнитным экраном достигается за счет того, что его материал, намагниченный первичным полем источника (катушки), создает в защищаемой области близкое по пространственному распределению вторичное поле, компенсирующее исходное. С позиции теории магнитных цепей принцип действия экрана заключается в том, что магнитное сопротивление его стенок значительно меньше, чем экранируемого пространства, и большая часть потока источника замыкается через него. Вторая трактовка не дает полного понимания особенностей работы экрана, что может привести к ошибкам в проектировании в тех случаях, когда нужно учитывать «тонкости». Общие закономерности экранирования замкнутыми магнитными экранами известны [2]: эффективность экранирования возрастает с увеличением магнитной проницаемости

материала и толщины стенок экрана, для «разомкнутых» (с немагнитными промежутками) экранов они значительно сложнее. Применительно к ним указанные выше закономерности «не работают».

Недопонимание авторами работы [3] особенностей действия разомкнутого магнитного экрана как конструкции в целом отразилось в трактовке результатов проведенного ими эксперимента как измерение «коэффициентов экранирования в плоских катушках». Результаты измерения, безусловно, могут быть использованы для оценки свойств материалов, что и делается в статье, но не являются коэффициентом экранирования конструкции для всего внешнего пространства. В эксперименте экран имеет вид листа, выполненного из исследуемых магнитных материалов (в их числе – магнитомягкий сплав 79НМ, из которого изготовлен рассматриваемый в настоящей статье экран). Конструкция такого вида на практике используется редко. Первичное поле катушки имеет преимущественно дипольный характер, а вторичное поле намагниченного ею в эксперименте листа-экрана – квадрупольный. В объеме пространства, занимаемом измерительной катушкой, их поля близки как по величине, так и по распределению, и в этом месте коэффициент экранирования высок. Но если измерительную катушку разместить в ином месте относительно экрана или удалить от него, скажется отличие в распределении квадрупольного и дипольного поля, и экранирование резко ухудшится. Аналогичного типа экран, как дополнительный к экрану катушек, был установлен на полу помещения 47.

В первоначальном варианте экран, разработанный и изготовленный НПО «Техносервис-электро» был также выполнен с незамкнутой магнитной системой. Для подобных экранов необязательно использование дорогих материалов с высокой магнитной проницаемостью. Это обусловлено тем, что основное влияние на магнитное сопротивление потоку оказывают немагнитные промежутки. Наши оценки показывают, что при достаточной толщине стенок и сколь угодно большой магнитной проницаемости материала ослабление внешнего магнитного поля катушки, расположенной в центре, например, полусферического экрана, не превысит 50%. Аналогичный результат – и при других формах экрана.

В доработанном варианте экрана под катушкой была дополнительно установлена горизонтальная часть и удлинены боковые стенки. Таким образом, экран стал замкнутым (рис. 1). Горизонтальные стенки экрана на достаточно большом расстоянии не создают существенного компенсирующего поля, но увеличивают намагниченность боковых стенок,

вторичное поле которых, как и поле катушек, имеет дипольный характер. При значительном удалении от катушек именно стенки определяют эффективность экранирования.

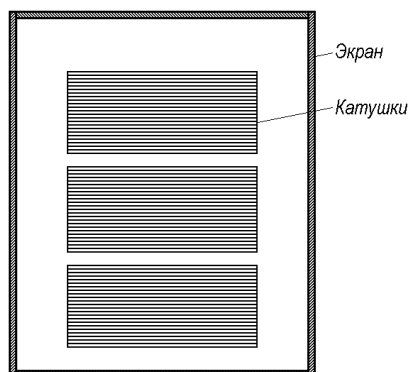


Рис. 1. Конструктивная схема магнитного экрана

Однако эффективность экранирования оказалась ниже ожидаемой, в связи с чем можно предположить следующее. Магнитные свойства сплава 79НМ могут значительно (в десятки раз) уменьшиться при относительно небольших деформациях, сопровождающих процесс монтажа экрана. В термообработанном материале максимальное значение магнитной проницаемости достигается при напряженности поля в стенках $0,1 \dots 1$ А/м и далее с ростом насыщения резко уменьшается. Возможно, в доработанной конструкции напряженность магнитного поля в стенках экрана превысила пороговое значение.

Очевидно, что как вспомогательное устройство экран не должен существенно влиять на оборудование, в состав которого входит. Магнитный экран уменьшает магнитное сопротивление R_m для потока катушки, что влечет увеличение индуктивности L катушки ($L = w^2 / R_m$, где w – число витков катушки). Для повышения эффективности стенки экрана должны располагаться ближе к катушке, а для снижения влияния – дальше. Поэтому необходимо было, исходя из допустимого влияния экрана, рассчитать его оптимальные размеры [4].

Конструкция выполненного экрана существенно ухудшает условия охлаждения катушек вследствие затруднения процесса конвекции. Видимо, разработчики полагали, что необходимое число отверстий в крышке и в нижней части боковых стенок экрана ухудшат его эффективность.

В конструкции должны быть также предусмотрены меры, ослабляющие вихревые токи. Протекая по стенкам (особенно горизонтальным), они вызывают потери и нагрев экрана, тем самым усугубляя дополнительно тепловой режим работы катушек.

С учетом изложенного, выполнение экрана катушек динамической компенсации замкнутым в магнитном отношении представляется нецелесообразным. Для повышения эффективности магнитное экранирование необходимо сочетать с методами электромагнитного и активного экранирования.

Список литературы

1. Мاستрюков Л.А. Электромагнитное экранирование мощных реакторов без стали. – Электричество, 1968, №1, с. 39...46.
2. Полонский Н.А. Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Советское радио, 1976. – 216 с.
3. Кузнецов П.А., Фармаковский Б.В. Экранирование магнитных полей аморфными магнитомягкими материалами // IEEE в сб. трудов V Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии (ЭМС-2003), 2003 г. С. 92...94.
4. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. 3-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.

УДК 681.5

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 2-ГО ПОДЪЕМА ЦХХ ОАО СГОК

Л. В. Уварова

Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Старый Оскол
uva1865@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассматривается автоматизированная система управления насосной станцией для поддержания давления в общем коллекторе на заданном уровне при помощи частотно-регулируемого привода. Разработанный алгоритм работы позволит снизить количество переключений между регулируемыми насосными агрегатами и сократить потери электроэнергии на насосной станции за счет оптимизации режима работы.*

***Ключевые слова:** насосный агрегат; давление; система управления.*

MODERNIZATION OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF PUMP STATION WATER RECYCLING 2ND ASCENT OF TSHH SGOK

L.V. Uvarova

*Sary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarova (branch)
National University of Science and Technology " MISiS ", Sary Oskol
uva1865@mail.ru*

Abstract. *The article deals with the automated control system of pump station to maintain the pressure in the common header at the specified level using a variable frequency drive. The developed algorithm works will reduce the number of switches between the regulated pump units and reduce energy losses at the pumping station by optimizing the operation.*

Keywords: *pump unit; pressure; control system.*

Введение

Насосная станция оборотного водоснабжения второго подъема предназначена для подачи воды на обогатительную фабрику и поддержания давления в трубах, в зависимости от качества руды.

Существующая система автоматического управления насосной станцией является частью системы автоматизации обогащения железной руды и осветления жидкой фазы пульпы, с использованием ее в оборотном водоснабжении, визуализацию работы насосных агрегатов, контроль технологических параметров (давление, расход электроэнергии, расход воды).

Управление технологическим процессом, пуск оборудования и контроль за его работой осуществляется централизованно операторами с пультов управления.

В свою очередь система автоматизации подачи воды взаимосвязана с автоматизацией подачи руды в мельницы.

Насосная станция оборотного водоснабжения второго подъема оснащена системой автоматического контроля и регулирования давления воды в трубах, состоящей из датчика плотности и расходомера - счетчика. Сигналы с датчиков поступают на регулятор, который обрабатывает и выдает полученные значения оператору. В соответствии с полученными значениями оператор открывая или закрывая напорные задвижки, либо запуская или останавливая насосные агрегаты (НА) производит регулировку давления – метод

дросселирования.

Описание существующего уровня автоматизации объекта

Система основного технологического оборудования состоит из 7-и технологических линий насосных агрегатов и распределительного коллектора. На сегодняшний день в насосной станции второго подъема оборотного водоснабжения отсутствует автоматическое управление, однако при проведении модернизации на станцию поставлено оборудование, позволяющее вести контроль и архивирование данных.

В настоящее время уровень автоматизации насосной станции не обеспечивает необходимого, оптимального регулирования всех технологических параметров.

Система автоматизации насосной станции не контролирует давление в трубах, а лишь ведет учет расхода воды и электроэнергии, и отображает текущее значение давления. Машинист насосной станции управляет подачей воды путем либо закрытия, либо открытия определенных задвижек, и пуском тех или иных НА в работу. Вследствие чего может возникнуть такая ситуация, когда машинист не успеет остановить НА, уровень в водоприемном резервуаре упадет ниже минимального, НА аварийно остановятся, что приведет к остановке фабрики из-за отсутствия воды. В связи с этим осуществляется низкое качество управления, не отвечающее возросшим современным требованиям.

Постановка задачи на модернизацию системы автоматизации

Для устранения указанных недостатков необходимо создать автоматизированную систему, которая должна решить основные задачи:

- замена устаревшей системы управления насосными агрегатами на современную;
- внедрение частотно-регулируемого электропривода на привод насоса;
- снижение удельных норм по энергозатратам.

Моделирование системы

Обеспечение регулирования давления в общем коллекторе в автоматическом режиме является основной задачей разрабатываемой системы автоматизации насосной станции. Для оценки режимов работы была синтезирована в пакете Matlab математическая модель системы управления работой НА по поддержанию давления в коллекторе насосной станции второго подъема, которая представлена на рис. 1. При создании модели [1] было учтено обстоятельство, что общее давление НА работающих на общую магистраль не равно их сумме, а в зависимости от количества включенных в работу насосов, их суммарный расход умножается на снижающий коэффициент. Это границы, в которых НА может обеспечивать минимальный и максимальный расход воды соответственно. Сигнал управления подается на

частотный привод, который управляет расходом регулируемого НА, изменяя частоту питающего напряжения привода насосного агрегата.

Регулирование давления происходит следующим образом. При работе в установившемся режиме один из регулируемых насосных агрегатов (РНА1 или РНА2) управляется от преобразователя частоты (ПЧ), а второй из них при этом подключен к сети 50Гц или выведен из работы, в зависимости от требуемого расхода воды (при превышении расходом максимальной производительности одного насоса он подключен к сети 50Гц, а при меньшем - отключен). Переключения происходят по сигналам выходной частоты ПЧ и знака производной от изменения давления. В случае достижения выходной частоты ПЧ величины равной 50Гц, происходит переключение РНА, работающего от ПЧ на сеть, а другой при этом подключается к выходу ПЧ.

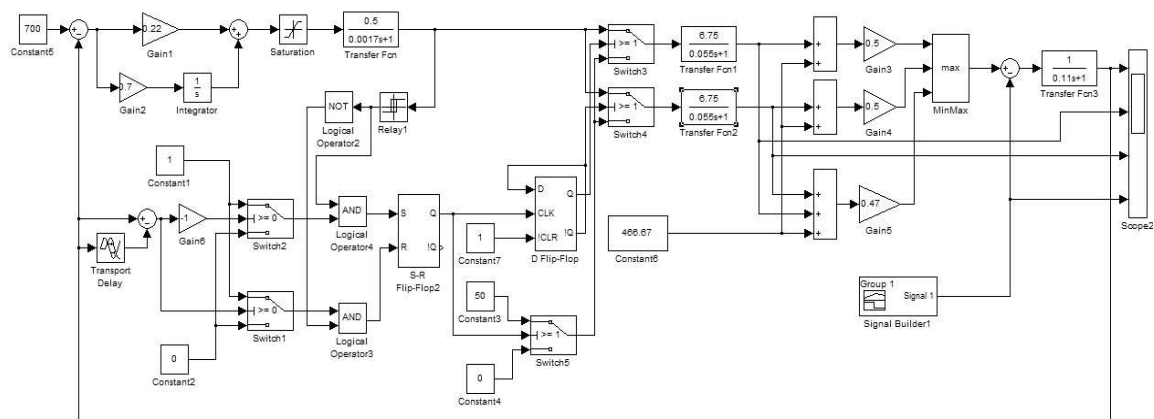


Рис. 1 Структурная схема модели контура управления насосными агрегатами

Отключение работающего от сети РНА, происходит при снижении выходной частоты ПЧ до величины равной 15Гц, что соответствует минимальной частоте нормальной работы двигателя насоса.

Кроме этого переключение при достижении $f = 50 \text{ Гц}$ происходит при отрицательном знаке производной по давлению, регулируемый НА работавший до этого от ПЧ отключается от него и подключается к сети 50Гц. При этом второй регулируемый НА, находившийся до этого в отключенном состоянии подключается к ПЧ. Таким образом в работе находятся два регулируемых насоса и четыре нерегулируемых насоса, подключенных на сеть постоянно. Общий расход составляет 0.75 от их суммарного расхода.

При положительной производной давления и текущей выходной частоте ПЧ $f = 15 \text{ Гц}$

регулируемый насос работавший до этого от ПЧ остается в прежнем состоянии, а второй регулируемый насос, находившийся до этого в работе от сети 50Гц отключается от неё. Таким образом в работе находятся регулируемый насос и четыре нерегулируемых насоса, подключенных на сеть постоянно. Общее давление составляет 0.5 от их суммарного расхода. Такой режим работы позволяет вдвое сократить число переключений, по сравнению со способом, когда управление ведется включением/отключением одного НА [2].

В результате моделирования системы получили графики переходных процессов представленные на рис. 2.

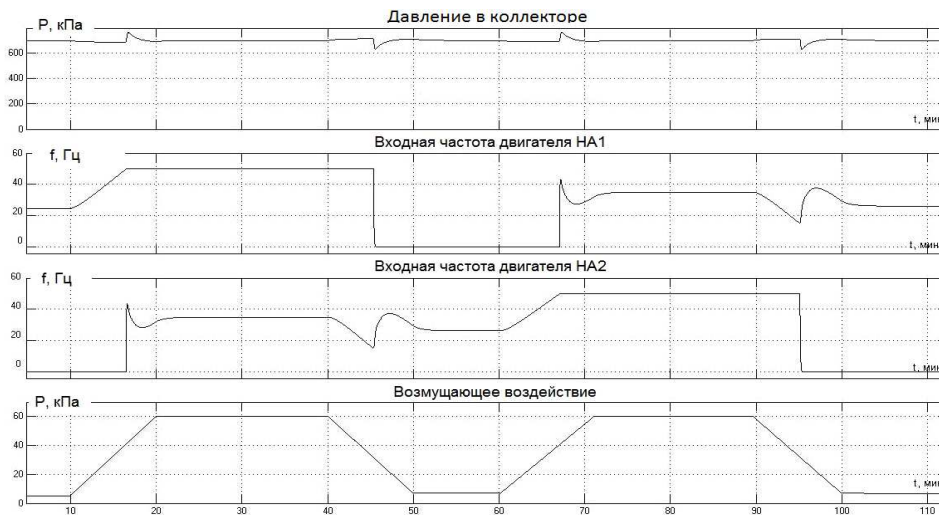


Рис. 2 Переходные характеристики давления воды в коллекторе, и частоты питающего напряжения регулируемых насосов

Заключение

Разработанная система управления повысит безопасность и надежность работы насосной станций, уменьшит вероятности возникновения аварийных ситуаций и сократит потери электроэнергии на насосной станции за счет оптимизации режима работы НА.

Список литературы

1. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств [Text]: учебное пособие/ А, А. Иванов — М.: Форум, 2011.-224 с.

2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках. — М.: Энергоатомиздат, 2006, 360 с. ил.

УДК 681.3.06

РЕИНЖИНИРИНГ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОИСКА И АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЗАВИСИМЫХ АТТРИБУТОВ

Филатов В.А., Чапланова Е.Б., Радченко В.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

filatov_val@ukr.net, chaplanova@gmail.com, cayrad@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена задача реинжиниринга информационной системы на основе реляционной базы данных. Предложен подход к определению функционально-зависимых атрибутов базы данных на этапе реинжиниринга и модифицированный алгоритм синтеза логической схемы реляционной базы данных.

Ключевые слова: реинжиниринг, информационная система, реляционная база данных, отношение, схема базы данных, функциональные зависимости, нормализация.

REENGINEERING RELATIONAL DATABASE INFORMATION SYSTEM BASED ON SEARCH AND ANALYSIS FUNCTIONAL THE DEPENDENT ATTRIBUTE

Filatov V.A., Chaplanova E.B., Radchenko V.A.

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

filatov_val@ukr.net, chaplanova@gmail.com, cayrad@gmail.com

Abstract. In this paper we solve the problem of reengineering the information system based on a relational database. We assume the new approach to determine function-dependent attributes of the database during reengineering and provide modified algorithm to synthesize database logical schema.

Keywords: reengineering, information systems, relational database, relation, the database schema, functional dependencies, normalization.

Введение

Реинжиниринг информационных систем, основой которых являются базы данных (БД), в последнее время привлекают все большее внимание специалистов в области современных информационных технологий, и это обусловлено рядом причин. В процессе своего существования БД неизбежно претерпевает изменения, связанные с непостоянством предметной области (например, усовершенствование бизнес-процессов, возникновение новых требований со стороны пользователей). Ключевым компонентом, во многом

определяющем характеристики функционирования реляционной базы данных (РБД), является логическая схема, представляющая собой описание таблиц данных и связей между ними.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили реляционные базы данных, обеспечивающие наилучшее сочетание надежности, простоты использования и производительности для решения различных задач. Поэтому выполнение задач сопровождения зачастую невозможно осуществить без внесения изменений в логическую схему БД. При этом необходимо учитывать существующие взаимосвязи между данными, заданные в процессе первоначального проектирования и продиктованные предметной областью. От того, насколько квалифицировано спроектирована БД, зависит эффективность функционирования информационной системы (ИС) в целом и возможности адаптации под изменяющиеся требования.

1. Цель проводимых исследований

Разработать и исследовать метод реинжиниринга реляционных баз данных на основе поиска, анализа и классификации множества функциональных зависимостей в текущем наборе данных. Множество функциональных зависимостей предполагается использовать в качестве входных данных для метода синтеза схемы реляционной базы данных в третьей нормальной форме.

2. Основная часть

В общем случае реинжиниринг включает в себя два этапа: формирование структуры РБД, отвечающей новым требованиям и перенос данных в эту структуру.

В методе реинжиниринга схемы данных предлагается подход с использованием множества строгих функциональных зависимостей. Такой подход позволяет перейти от исходного отношения к набору отношений в третьей нормальной форме путем применения последовательности правил декомпозиции.

Представим исходную РБД как множество $DB = \{\rho_1, \dots, \rho_n\}$, где ρ_i – отношение БД, $i = \overline{1, n}$ (n – количество отношений БД). Выразим ρ_i через набор $\langle \sigma_i, p_i \rangle$, где σ_i – логическая схема отношения, а p_i – экземпляр отношения (множество кортежей). Логической схемой отношения будем считать $\sigma_i = \langle R_i, F_i \rangle$, где R_i – множество атрибутов, а F_i – множество функциональных зависимостей (ФЗ), выполняющихся на R_i .

С другой стороны, $DB = \langle \Sigma, P \rangle$, где $\Sigma = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ – логическая схема, а $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ – экземпляр данных РБД. Также логическую схему Σ можно выразить как набор $\Sigma = \{R, F\}$, где $R = \bigcup R_i$ – общее множество атрибутов, а $F = \bigcup F_i$ – общее множество ФЗ.

В процессе нормализации при проектировании исходной структуры РБД происходит декомпозиция универсального отношения U согласно множеству ФЗ, которые выполняются

на U . Целью нормализации является устранение избыточности данных, а также аномалий обновления/удаления. Как правило, достаточной считается нормальная форма Бойса-Кодда (НФБК), в которой отсутствуют какие-либо аномалии. Но ввиду того, что не все схемы можно привести к НФБК, основной принято полагать третью нормальную форму (3НФ) [1]. Обозначим через Σ' текущую логическую схему РБД, которая является результатом внесения ряда изменений согласно изменениям требований к ИС. Текущее множество атрибутов обозначим как R' . В процессе функционирования РБД также происходит переход от R к R' , где R' – текущий экземпляр данных.

Нельзя гарантировать, что Σ' находится в 3НФ: если $R' \neq R$, то из этого следует $F' \neq F$, где F' – текущее множество ФЗ. Поскольку имеет место $\Sigma' = \langle R', F' \rangle$, то необходимой является проверка текущей логической схемы Σ' на соответствие 3НФ, а также приведение к ней в противном случае.

Для решения поставленной задачи предлагается построить 3НФ для текущей логической схемы, используя предложенный Ф. Бернштейном метод синтеза [2]. Он принимает в качестве входного параметра множество ФЗ и формирует множество возможных реализаций схем $S = \{\hat{\Sigma}_1 \dots \hat{\Sigma}_m\}$, которые находятся в 3НФ. Следует отметить, что данная задача не является тривиальной. Множество F' , которое является исходными данными для метода синтеза, не полностью определено ввиду того, что при изменении множества атрибутов изменяется и множество ФЗ, соблюдающихся на этих атрибутах. Поэтому первым этапом является нахождение множества F' , справедливого для R' .

Пусть F_S – множество тех ФЗ, которые представляется возможным получить путем анализа ограничений целостности реляционной СУБД, таких как первичные и внешние ключи. Обозначим с помощью F_H то множество ФЗ, которое представляет собой неявные зависимости, о существовании которых не было известно во время первоначального проектирования. Они существуют в виде закономерностей в данных, установившихся в процессе функционирования ИС, и будут использованы в процессе синтеза целевой схемы. Таким образом, искомое множество ФЗ $F' = F_S \cup F_H$; нахождение F_S не рассматривается в данной работе.

Для определения множества F_H существует ряд методов выявления зависимостей из экземпляров РБД. В основном, они используются в задачах интеллектуального анализа данных и позволяют находить приблизительные ФЗ (ПФЗ). Отличие от классических «строгих» ФЗ состоит в том, что допускается существование ФЗ, даже если в РБД присутствуют строки, нарушающие корректность ФЗ. Это допущение опирается на предположение о том, что в процессе функционирования РБД возможно внесение «ошибочных» строк. Под «ошибочной» строкой следует понимать такой кортеж, который не

противоречит существующим ограничениям целостности, но нарушает соблюдавшуюся до этого момента неявную ФЗ. Одним из таких методов является метод Tane [3] и его модификации, послуживший основой для других подобных решений. Известна классическая модификация данного метода, позволяющая выявлять только строгие ФЗ [4]. В качестве входных данных необходимо предоставить экземпляр P' ; результатом работы метода является искомое множество F_H . Тем не менее, корректность результата не гарантируется для данных, содержащих пустые значения (NULL). Поддержка пустых значений в задаче выявления ФЗ не рассматривается в данной работе.

Исходными данными для решения подзадачи нахождения множества F_H являются: логическая схема реляционной БД $\Sigma = \{\sigma_i, i = \overline{1, n}\}$, где σ_i – схема одного отношения, входящего в БД, n – количество отношений; схема отношения $\sigma_i = \langle R_i, F_i \rangle$, где R_i – носитель отношения (множество атрибутов), а F_i – множество функциональных зависимостей (ФЗ), удовлетворяющих данному отношению. $P = \{\rho_i, i = \overline{1, n}\}$ – множество отношений рассматриваемой БД [5]. Основные этапы метода синтеза:

1. Устранение лишних атрибутов. Пусть F – исходный набор ФЗ. После устранения лишних атрибутов из левых частей каждой ФЗ в F в результате будет получено множество F' . Атрибут является лишним, если его устранение не влияет на замыкание множества ФЗ.

2. Нахождение покрытия. Необходимо найти такое множество H для F' , что любую ФЗ из F' можно было вывести, используя зависимости из H .

3. Разбиение. Разбить H на группы, такие, что все ФЗ в каждой группе будут иметь одинаковые левые части.

4. Объединение эквивалентных ключей. Пусть $J = \emptyset$. Для каждой пары групп H_i и H_j с левыми частями X и Y , соответственно, необходимо объединить H_i и H_j если существует биекция $X \leftrightarrow Y$ в H^+ . Для каждой такой биекции добавляем $X \rightarrow Y$ и $Y \leftarrow X$ в J . Проводится проверка для каждого атрибута $A \in Y$: если $X \rightarrow A$ находится в H , необходимо удалить его из H . То же самое проделывается для каждого $X \rightarrow B$ в H с $B \in X$.

5. Устранение транзитивных зависимостей. Для этого необходимо найти $H' \subseteq H$ такое, что $(H' + J)^+ = (H + J)^+$ и ни одно подмножество, принадлежащее H' , не должно обладать этим свойством. Затем нужно добавить каждую ФЗ, принадлежащую J , в соответствующую группу H' .

6. Построение отношения. Для каждой группы построить отношение, состоящее из всех атрибутов, находящихся в такой группе. Каждое множество атрибутов, которое находится в левой части любой ФЗ в группе, является ключом отношения. (Шаг 1 гарантирует, что такое множество не будет содержать лишних атрибутов). Все ключи,

найденные таким образом, будут называться синтезированными. Множество построенных отношений составляет схему для заданного множества ФЗ.

Минимальность данного метода гарантируется тем, что все избыточные покрытия дают в результате одинаковое количество отношений, поскольку количество классов эквивалентности синтезированных ключей является одинаковым для всех избыточных покрытий некоторого множества ФЗ [6]. В случае, если $\Sigma' \notin S$, текущая схема не находится в ЗНФ, и для получения схемы в ЗНФ наиболее очевидным вариантом является выбор одной из реализаций $\hat{\Sigma} \in S$ в качестве целевой. В случае, когда реализаций $\hat{\Sigma}$ несколько, критерием выбора предлагается использование экспертной оценки, поскольку они все являются корректными с позиции условий ЗНФ.

Предложенный подход к задаче реинжиниринга реляционной базы данных позволяет осуществить синтез схемы данных, а также получить оценки соответствия логической схемы третьей нормальной форме. В конечной структуре будут учтены не только явные взаимосвязи между данными, выраженные с помощью ограничений целостности реляционной системы, но и скрытые зависимости предметной области, которые установились исторически в процессе функционирования ИС.

Заключение

В статье рассмотрен подход к задаче реинжиниринга информационных систем на основе реляционных баз данных. Выделены проблемы реинжиниринга РБД, исследован этап формирования логической схемы базы данных, являющийся общим для задач адаптации и рефакторинга. Рассмотрена подзадача проверки нахождения логической схемы РБД в ЗНФ, показано, что ее решение сопряжено с рядом трудностей, в частности, необходимостью нахождения множества функциональных зависимостей. Предложен подход для нахождения функциональных зависимостей из экземпляров данных РБД.

Предложенный метод поиска функциональных зависимостей дает возможность включить в процесс реинжиниринга те взаимосвязи предметной области, которые не были включены на начальном этапе проектирования. Это позволяет гарантировать оптимальность конечной логической схемы, полученной с помощью метода синтеза, и, как следствие – минимизацию избыточности хранимых данных в процессе функционирования реляционной базы данных.

Список литературы

1. Bernstein P.A. Synthesizing Third Normal Form Relations from Functional Dependencies / ACM Transactions on Database Systems Volume 1 Issue 4. – 1976. – С. 277 – 298.
2. Nick Rossiter. Re-engineering relational databases: the way forward: ISWSA '11, ACM New York, NY, USA, 2011. – 17 с.

3. Henrard, J. Data dependency elicitation in database reverse engineering: Software Maintenance and Reengineering Conference, 2001. – С. 11-19.
4. Мейер Д. Теория реляционных баз данных // Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 609 с.
5. В.А. Радченко. Модификация метода выявления функциональных зависимостей в реляционных базах данных / Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку. Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2011. – 52 с.
6. В.А. Радченко, С.С. Танянский. Выявление скрытых зависимостей между данными в задачах реинжиниринга информационных систем / Системи обробки інформації. Випуск 3(101) – Х.: ХУПС, 2012. – 268 с.

УДК 004.93'1, 65.015.2

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

М.А. Цуканов, О.П. Ульянова

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
tsukanov_m_a@mail.ru, ulianov032223@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена общая классификация методов компьютерного зрения, предложен автоматизированный подход к нормированию трудовых операций посредством использования методов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: нормирование трудовых операций, непроемственные затраты рабочего времени, компьютерное зрение, искусственный интеллект.

COMPUTER VISION IS BASE OF MANUFACTURING WORK TIME LOGGING AUTOMATIZATION

M.A. Tsukanov, O.P. Ulyanova

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol
tsukanov_m_a@mail.ru, ulianov032223@mail.ru

***Abstract.** The article is discussed the general classification of computer vision methods, is introduced automatization approach for job rate making with using of artificial intelligence.*

***Keywords:** computer vision, artificial intelligence, job rate making, worktime nonmanufacturing cost.*

Компьютерное зрение (КЗ) – область исследования, главной задачей которого является разработка алгоритмов распознавания объектов на изображении (фото или кадры видеопотока), слежения и анализа динамики их действий. На сегодняшний день технологии КЗ активно развиваются и внедряются в различные сферы деятельности человека. Их стремятся использовать для наблюдения в местах массового скопления людей (аэропорты, вокзалы, центральные площади) в целях безопасности (например, распознавания террористических угроз), мониторинга в крупных супермаркетах. Идёт работа над так называемыми предупредительными системами для автомобилей, позволяющими предотвратить аварии. В области медицины ведутся разработки систем анализа изображений (снимки дыхательной системы, радужной оболочки глаза), в 2013 году в лаборатории компьютерных наук и искусственного интеллекта Массачусетского технологического института разработали технологию, позволяющую определять пульс человека по видео [7]. В данной же статье предлагается использование технологий КЗ в производстве с целью нормирования трудовых операций, в том числе для сокращения непроизводительных затрат рабочего времени (НЗРВ).

Нормирование труда – это вид деятельности по управлению производством, который заключается в установлении необходимых затрат и результатов труда, а также соотношений между численностью работающих и количеством используемых ими средств труда. Одним из объектов нормирования труда являются затраты рабочего времени на выполнение элементов производственного процесса (нормы времени) [5]. Под НЗРВ будем понимать затраты времени, не связанные с производством продукции (осуществлением технологического процесса).

Сегодня нормирование трудовых операций на производстве осуществляется, в основном, при помощи различного рода планирования, разработки карт рабочего времени (КРВ) и непосредственно рабочим-нормировщиком, в обязанности которого входит слежение за выполнением трудовых операций. Но у каждого из методов (а они часто используются в комплексе) существует как ряд достоинств, так и недостатков. Главные преимущества использования КРВ заключаются в простоте, небольшой трудоёмкости,

возможности изучать группу рабочих или оборудования (обычно до 15-20 единиц) одним наблюдателем [6]. Однако подобный контроль достаточно поверхностен, так как позволяет получить лишь усреднённые данные о затратах времени и не даёт представления полной картины о причинах потерь времени. Нормировщик-человек, с одной стороны, эффективен с точки зрения анализа, с другой – возникает вопрос негативного влияния человеческого фактора, как то: переутомление, рассеянность внимания, субъективность, способность отвлекаться на внешние воздействия. К этим же недостаткам прибавляется и недостаточное количество нормировщиков, так как в условиях динамичного развития производства закрепление нормировщика за каждой единицей оборудования (или рабочим) едва ли можно считать экономически выгодным. И потому сейчас нормировщики, как правило, отвечают за определённую часть цеха, что исключает возможность одновременного анализа всех технологических процессов и, как следствие, отрицательно сказывается на эффективности производства. В связи с тем, что проблема нормирования трудовых операций и контроля НЗРВ решается пока недостаточно эффективно, имеет смысл обратить внимание на технологии КЗ.

Анализ трудовых операций с помощью технологий КЗ можно разделить на следующие этапы:

1. Распознавание искомого объекта.
2. Анализ действия искомого объекта.
 - 2.1. Распознавания действия.
 - 2.2. Определения типа действия (типичное/нетипичное).

Для реализации обозначенных этапов возможно использование ряда методов, разработанных на сегодняшний день. Следует отметить, что говорить об универсализации в данном случае не приходится, так как решение общей задачи распознавания едва ли возможно в связи с существующей многофакторностью данной области, потому на данный момент возникло множество частных методов, имеющих свои достоинства и недостатки в зависимости от условий.

В области КЗ изображение рассматривается как совокупность пикселей (массив пикселей). Для определения подходящего метода распознавания вводят так называемые уровни представления. Под уровнем представления понимается система, в которой содержатся алгоритмы получения описаний объектов изображения заданных в определенной

форме. Исходя из этого, процесс распознавания объектов можно интерпретировать как процесс последовательного преобразования информации, от исходного изображения, представленного в виде массива пикселей, до семантического описания изображения через некоторую совокупность промежуточных представлений [3].

На основании существующих типов представлений, выделяют следующие группы методов распознавания изображения:

1. низкоуровневые;
2. признаковые;
3. контурные;
4. структурные.

Низкоуровневые методы можно условно разделить на функциональные представления и представления в виде случайных полей, которые в основном используются на предварительном этапе обработки изображений и для описания последующих уровней, либо для задач распознавания изображений обладающих малой изменчивостью.

В основе признаковых методов лежит определение значимой характеристики объекта (признака) в численной форме. Среди признаков выделяют:

1. общие (цвет, форма, фактура, то есть характерные для любого изображения);
2. предметно-зависимые (различны для каждой предметной области, например для распознавание лиц, отпечатков пальцев и т.д.)

Контурные методы предлагают распознавать объект на изображении, ориентируясь лишь на его контур, определение которого возможно различными способами [4].

При использовании структурных методов предполагается выделение структурных элементов (точки, связанные контуры из ряда характерных точек и т.д.).

Низкоуровневые и признаковые методы наиболее эффективны в узких предметных областях, т. к. остро реагируют на изменчивость изображений, причинами которой могут служить изменение ракурса съемки, освещения, типа камеры). Контурные и структурные методы являются более универсальными, т.е. применимыми к широким предметным областям с высокой изменчивостью изображений. Но вместе с тем, они обладают рядом недостатков, наиболее значительным из которых является высокая вычислительная сложность.

Методы распознавания изображений также условно можно поделить на математические (классическая математика) и методы искусственного интеллекта.

Математическое представление некоторого объекта Ω подразумевает существование набора $\{D_1, \dots, D_N\}$ операторов (детекторов, измерений), которые ставят в соответствие объекту вещественный вектор (вектор признаков) $X = (d_1, \dots, d_N)$, где $d_i = D_i(\Omega)$. Для построения вектора признаков используются различные методы [2].

Для математических методов характерна точность ответа: исключается двусмысленное толкование. Также несомненным преимуществом является во многих случаях несложная программная реализация. К явным недостаткам этих методов можно отнести их «негибкость», потому как увеличение количества учитываемых параметров влечёт за собой повышение необходимой вычислительной мощности, ресурсов хранения информации (памяти). И, как следствие, увеличение необходимого для решения задачи времени. Более того, формализация математических подходов сложна для систем, в которых большую неопределённость вносит участие человека. Для возможности учета многофакторности и максимальной приближённости к системам, объектом в которых является человек, целесообразно обратить внимание на использование методов искусственного интеллекта. Среди них сейчас активно используют нечёткую логику, как в [1], аппарат нейронных сетей, искусственные иммунные сети.

К несомненным преимуществам методов искусственного интеллекта можно отнести их «гибкость» - возможность учета множества факторов, не так отрицательно сказываясь на времени выполнения задачи и необходимой вычислительной мощности. Формализация задач с повышенным уровнем изменчивости факторов и неопределённости использование методов искусственного интеллекта предпочтительней. Однако не исключается возможность комбинирования математических методов и методов искусственного интеллекта, где первым уделяется больше подготовительная обработка изображения.

Для решения задачи нормирования трудовых операций предлагается синтез графовых методов и аппарата нейронных сетей. Графы позволят классифицировать объект на видео при помощи выделения характерных точек, а нейронная сеть будет осуществлять анализ, то есть определение типа действия как типичного или же нетипичного.

Список литературы

1. Брагин А.В., Комплект программ для проектирования систем компьютерного зрения на базе нечетких классификаторов / Брагин А.В., Пьянзин Д.В., Трифонов А.А., Ильин С.И., Спиринов И.В. // Учебный эксперимент в образовании. – 2012. - №4. – С. 76-81.

2. Вражнов Д. А. Симметрии дифференциальных уравнений в задачах компьютерного зрения / Вражнов Д. А., Шаповалов А. В., Николаев В. В. // Компьютерные исследования и моделирование. – 2010. – №4 – С. 370.
3. Гриценко А.В. Исследование и классификация методов распознавания изображений в системах компьютерного зрения / Гриценко А.В., Дорошенко Н. С.// Вестник Ставропольского государственного университета. – 2011. - №75. – С. 84-87.
4. Макаров М. А. Контурный анализ в решении задач описания и классификации объектов / Макаров М. А.// Сборник IX Всероссийской научно-практической конференции «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». – 2012. – С. 86-88.
5. Тихомирова Т. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учеб. пособие / Т. П. Тихомирова, Е. И. Чучкалова. – Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос.гос.проф.-пед.ун-т», 2008. – С.72.
6. http://edu.dvgups.ru/METDOC/EKMEN/MEN/ORG_TR_PER/M_8/8.HTM
7. <http://newsoffice.mit.edu/2013/seeing-the-human-pulse-0620>

УДК 004.89

ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ СЕРВИСА

Шаманская Е.В.

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
samselelena2008@yandex.ru

***Аннотация.** Инновационная деятельность может быть определена как деятельность по созданию, освоению, распространению и использованию инноваций. В сфере услуг инновационным продуктом является решение, способное более эффективно удовлетворять общественные потребности. Непременным свойством инновации является научно-техническая новизна, поэтому необходимо отличать инновации от несущественных видоизменений в продуктах и услугах.*

***Ключевые слова:** Инновационная деятельность; сфера услуг; инновации.*

INNOVATION IN THE SERVICE SECTOR

Shamanskaya E.V.

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISiS", Stary Oskol

***Abstract.** Innovative activity can be defined as an activity for the creation, development, distribution and use of innovations. In the service sector an innovative product is a solution that can better meet the public needs. Innovation is an essential feature of the scientific and technological innovation, therefore necessary to distinguish innovation from non-essential modifications in products and services.*

***Keywords:** innovative activity; service sector; Innovation.*

Инновационная деятельность на современном этапе становится одним из важнейших системных факторов экономического роста, конкурентоспособности отечественной продукции, обеспечения безопасности страны. Инновационная деятельность — это комплекс научных, технологических, организационных, финансовых и коммерческих мероприятий, направленный на коммерциализацию накопленных знаний, технологий и оборудования [1]. Результатом инновационной деятельности являются новые или дополнительные товары/услуги или товары/услуги с новыми качествами. Процесс создания, освоения и распространения инноваций называется инновационной деятельностью или инновационным процессом.

Также инновационная деятельность может быть определена как деятельность по созданию, освоению, распространению и использованию инноваций[2]. Инновационная деятельность — это деятельность направленная на использование и коммерциализацию результатов научных исследований и разработок для расширения и обновления номенклатуры и улучшение качества выпускаемой продукции (товаров, услуг), совершенствования технологии их изготовления с последующим внедрением и эффективной реализацией на внутреннем и зарубежных рынках, предполагающая целый комплекс научных, технических, технологических, организационных, финансовых и коммерческих мероприятий, которые в своей совокупности приводят к инновациям.

Инновации информационные решают задачи рациональной организации информационных потоков в сфере научно-технической и инновационной деятельности, повышения достоверности и оперативности получения информации.

Результат инновационной деятельности можно назвать также инновационным продуктом. В качестве инновации (новшества, нововведения) в сфере услуг выступает результат инновационной деятельности (сервисный продукт, технология или ее отдельные элементы, новая организация сервисной деятельности и др.), который способен более эффективно удовлетворять общественные потребности.

Официальными российскими терминами в области инновационной деятельности являются термины, используемые в «Концепции инновационной политики Российской Федерации на 1998-2000 годы», одобренной постановлением Правительства РФ от 24 июля 1998г. № 832[1]. . В частности, в этом документе дается следующее определение инновации:

«Инновация (нововведение) — конечный результат инновационной деятельности, получивший реализацию в виде нового или усовершенствованного продукта, реализуемого на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности» [2]. Без применения инноваций практически невозможно создать конкурентоспособную продукцию, имеющую высокую степень наукоемкости и новизны. Таким образом, в рыночной экономике инновации представляют собой эффективное средство конкурентной борьбы, так как ведут к созданию новых потребностей, к снижению себестоимости продукции, к притоку инвестиций, к повышению имиджа (рейтинга) производителя новых продуктов, к открытию и захвату новых рынков, в том числе и внешних.

Оформление относительно разрозненных научных взглядов в достаточно целостную теорию инноватики произошло во второй половине XX века. До этого преобладала точка зрения, рассматривающая технический прогресс как случайный процесс. Важную роль в становлении этой теории сыграли крупные технические проекты, реализация которых потребовала проведения научных исследований всех уровней: от фундаментальных до прикладных. В отечественной теории инноваций, выраженной в работах С.Ю. Глазьева, А.А. Дынкина, В.Л. Иноземцева, Р.М. Нуреева и др., многие вопросы остаются нераскрытыми. Недостаточно чётко определяется понятийный аппарат.

Существует множество классификаторов инноваций, предлагаемых отечественными и зарубежными авторами. Среди них такие известные зарубежные специалисты в области экономики и менеджмента как Й. Шумпетер, И. Ансофф и П. Друкер. В отечественной литературе по инновациям можно выделить классификации, предложенные А. Н. Цветковым, П. Н. Завлиным и А.В. Васильевым, В. В. Горшковым и Е.А. Кретовой, Э. А. Уткиным, Г. И. Морозовой и Н.И. Морозовой, А. И. Пригожиным и др. [2].

В Научно-исследовательском институте системных исследований (РНИИСИ) разработана расширенная классификация инноваций с учетом сфер деятельности предприятия: технологические; производственные; экономические; торговые; социальные; в области управления.

Непременным свойством инновации является научно-техническая новизна. Поэтому необходимо отличать инновации от несущественных видоизменений в продуктах и технологических процессах (изменения цвета, формы и т.п.); незначительных технических или внешних изменений продукта, а также входящих в него компонентов; от расширения номенклатуры продукции за счет освоения производства не выпускавшихся прежде на данном предприятии, но уже известных на рынке.

Инновационный процесс представляет собой последовательность действий по инициации инновации, по разработке новых продуктов и операций, по их реализации на рынке и по дальнейшему распространению результатов.

Инновационный процесс включает в себя семь элементов, соединение которых в единую последовательную цепочку образует структуру инновационного процесса.

К этим элементам относятся: инициация инновации; маркетинг инновации; выпуск (производство) инновации; реализация инновации; продвижение инновации; оценка экономической эффективности инновации; диффузия (распространение) инновации.

Жизненный цикл инновации представляет собой определенный период времени, в течение которого инновация обладает активной жизненной силой и приносит производителю и/или продавцу прибыль или другую реальную выгоду. Жизненные циклы инновации различаются по видам инноваций. Эти различия затрагивают прежде всего общую продолжительность цикла, продолжительность каждой стадии внутри цикла, особенности развития самого цикла, разное количество стадий. Виды и количество стадий жизненного цикла определяются особенностями той или иной инновации. Однако у каждой инновации можно определить «стержневую», то есть базовую, основу, жизненного цикла с четко выделенными стадиями.

Список литературы

1. Управление инновационными проектами: Учебн.пособие / Под ред. проф. В.Л. Попова. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 336с.
2. Инновационный менеджмент: Учебник./Под ред. Л.Н. Оголевой. 2-е изд., стереотип. – М.: ИНФРА-М, 2008. - 288 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО ВАРЬИРУЕМОЙ НАГРУЗКИ

С. В. Шевляков, Ю. И. Еременко

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол
ivanov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы применимости и эффективности различных структур силовой части в импульсных преобразователях высокой мощности

Ключевые слова: импульсный источник питания, одноконтный преобразователь, двухконтный преобразователь, полумост, косой полумост, мостовой преобразователь, резонансный преобразователь, квазирезонансный преобразователь.

OVERVIEW STRUCTURE POWER SECTION SWITCHING CONVERTERS HIGH POWER

S. V. Shevlyakov, Y. I. Eremenko

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and
Technology "MISiS", Stary Oskol
ivanov@mail.ru

Abstract. The article discusses the applicability and effectiveness of the various structures of the power unit in pulsed high power converters

Keywords: switching power supply, single-ended converter, the push-pull converter, half-bridge, half bridge skew, bridge converter, resonant converter, quasiresonance converter.

1. Введение

Импульсные источники питания достаточно прочно вошли в нашу жизнь, заменив источники питания на основе низкочастотного трансформатора. Они обладают большим количеством преимуществ, в сравнении с низкочастотным трансформатором, к примеру такими, как размер, вес, стоимость, стабильность выходных характеристик, широкий диапазон изменения выходных характеристик и многое другое. Однако разработка построение импульсных источников питания высокой мощности связано с некоторыми

сложностями, которые приводят к дороговизне и снижению надежности итоговой конструкции. В первую очередь это связано с выделением большого количества тепла во время работы источника, что может привести к перегреву элементов и выходу их из строя.

2. Основная часть

Основные потери в импульсных источниках питания происходят в ключевых элементах – силовых транзисторах, они составляют до 50%. 40% потерь приходится на выходной выпрямитель и 10% потерь составляют потери в трансформаторе и снабберных цепях. Основной причиной возникновения потерь на ключевых элементах является их плавное переключение, т.к. в эти моменты времени они находятся в линейном режиме и из-за высокого напряжения, приложенного к ключевому элементу, на нем рассеивается большое количество теплоты. Для того, чтобы минимизировать потери на ключах необходимо производить их переключение при нулевом напряжении, приложенном к ним (режим мягкого переключения), в различных топологиях этого добиваются различными способами.

Рассмотрим существующие топологии силовой части:

I. Однотактный

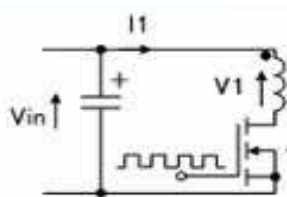


Рис.1 Принципиальная схема топологии однотактного преобразователя

Данная топология силовой части используется в прямоходовых и обратных преобразователях низкой мощности до 300 Вт. Нарастание мощности производится параллельным включением нескольких транзисторов, что приводит к суммированию их емкости затвора и тем самым ограничивает максимальную рабочую частоту преобразователя. Для достижения режима мягкого переключения параллельно транзистору подключается RDC цепь, замедляющая рост напряжения между выводами транзистора. В схеме возможно применение транзисторов со значением обратного напряжения не менее 600В. Достоинствами данной топологии является её простота и дешевизна

II. Двухтактный

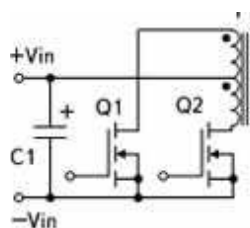


Рис.2 Принципиальная схема топологии двухтактного преобразователя

Топология представленная на рисунке 2 является соединением двух одноконтных схем с общим трансформатором, работающих по очереди. Используется при построении источников питания до 1кВт. Ей присущи достоинства и недостатки одноконтной схемы, но помимо этого она обладает пониженным уровнем помех т.к. для передачи энергии используются оба такта работы трансформатора. Режим мягкого переключения достигается аналогичным образом, как и в одноконтной схеме.

III. Полумост

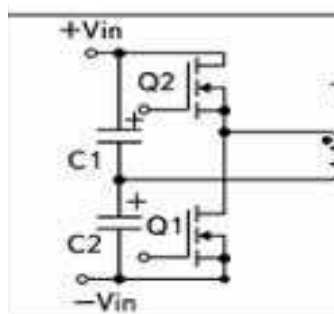


Рис. 3 Принципиальная схема топологии полумостового преобразователя

Данная топология нашла широкое применение в источниках питания средней мощности (до 500Вт.) в ней, также как и в двухтактной, процесс передачи энергии происходит в обоих тактах, что приводит к пониженному уровню помех, конденсаторный делитель напряжения позволяет использовать транзисторы с низким обратным напряжением, не менее 400В. Однако мощность, которую возможно получить с использованием данной топологии ограничивается возможностью электролитических конденсаторов пропускать высокие импульсные токи. Режим мягкого переключения достигается аналогичным образом, как и в одноконтной схеме.

IV. Мостовой

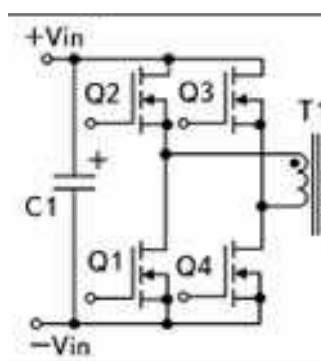


Рис. 4 принципиальная схема топологии мостового преобразователя

Приведенная топология обладает повышенным КПД и находит свое применение в импульсных преобразователях высокой мощности, свыше 1кВт. Недостатком данной топологии является сложная конструкция снаббера, позволяющего использовать режим мягкого переключения.

V. Косой полумост

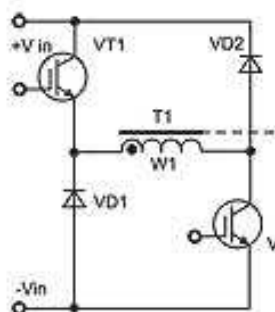


Рис. 5 Принципиальная схема топологии преобразователя по схеме косой полумост

Косой полумост, в своем классическом исполнении применяется для источников питания мощностью до 1кВт. Энергия передается в нем в течение одного такта, что приводит к повышенному уровню помех. Перевод схемы в режим мягкого переключения не вызывает никаких сложностей, что позволяет значительно увеличить мощность преобразователя до нескольких десятков киловатт. Использование регенеративного снаббера, приведенного на рисунке 6 позволяет увеличить КПД за счет возвращения накопленной в конденсаторах снаббера энергии обратно в источник питания при следующем такте работы.

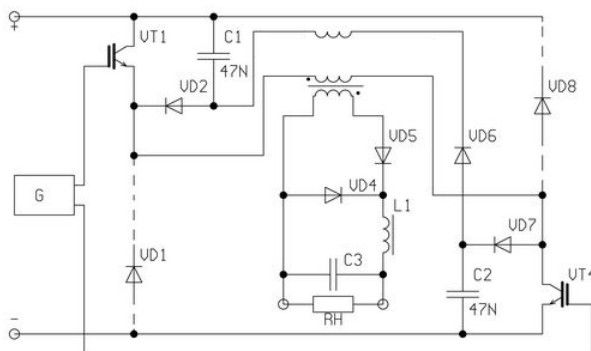


Рис. 6 Принципиальная схема топологии преобразователя по схеме косого полумоста с регенеративным снаббером

VI. Резонансный

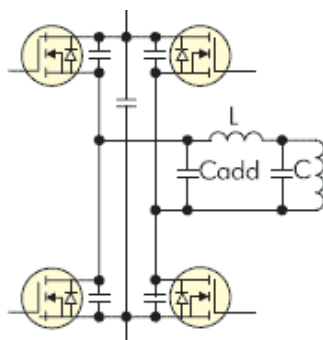


Рис. 7 Принципиальная схема топологии резонансного преобразователя

Наибольшей популярностью, при построении источников питания высокой мощности, пользуется топология резонансного преобразователя. В ней энергия изначально накапливается в колебательном контуре и подстройкой частоты преобразователя производится регулировка мощности передаваемой в контур. Достоинством данной схемы является то, что ключи всегда переключаются при 0 напряжении на них, что сводит к минимуму потери на них, Однако данная топология не позволяет производить изменение выходной мощности в широких пределах и уменьшение потребляемой мощности нагрузкой приводит к сильным потерям внутри контура и на силовых транзисторах.

3. Вывод

Из приведенного выше анализа существующих топологий силовых преобразователей можно сделать вывод, что наиболее универсальной является топология косоугольного полумоста со снаббером. Она позволяет наращивать мощность преобразователя в широких пределах, работать при изменяемой в широких пределах нагрузке и при этом перевод транзисторов в режим мягкого переключения не вызывает сложностей, а использование регенеративного снаббера позволяет увеличить КПД источника.

Работа выполнена при поддержке СТИ НИТУ МИСиС и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Список литературы

1. Эраносян С.А., Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. - 176 с.: ил.
2. Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. — М.: «Три Л», 2000. - 400с.
3. Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. — М.: «Три Л», 2000. - 400с.

4. Семёнов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 416 е.: ил. (Серия «Библиотека инженера»).²³ Frank Cathell, Using Critical Conduction Mode for High Power Factor Correction, ON Semiconductor, 2004.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ: ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.Н. Падерин, В.Т. Бурцев, С.Н. Анучкин, А.А. Сисёв, В.А. Калицев, А.И. Щербаков, А.Н. Мосолов	РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ РАСКИСЛЕНИЯ ЭЛИНВАРНЫХ СПЛАВОВ.....	3
А.С. Бильгенов, А.Е.Шотанов, В.Е. Рошин	ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ХРОМА В РУДО-УГОЛЬНЫХ БРИКЕТАХ.....	12
В.И. Александров, М.А. Васильева	ПУЛЬСАЦИОННОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ В СИСТЕМЕ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА.....	16
Н.А. Шаповалов, Р.Г. Шевцова, А.И. Городов, А.А. Крайний, И.Л. Винцковская, М.М. Рядинский	ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД..	23
Л.В. Григорьева	ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ.....	28
Н.А. Шаповалов, А.А. Крайний, А.И. Городов, А.А. Хачатуров, О.В. Сорокина	ФЛОТАЦИЯ ГЕМАТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ КАТИОННЫМИ СОБИРАТЕЛЯМИ.....	31
М. Акнурланулы, В.Е. Рошин, Ю.А. Гудим	ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОТИТАНИСТОГО ШЛАКА ИЗ ИЛЬМЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА	36
И.Е. Ходосов	ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ	40
В.В. Коровушкин, М.Н. Шипко, А.В. Смагина, Б.А. Староверов, В.А. Глухих	МАГНИТОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ	46
И.А. Краснянская, Г.С. Подгородецкий, С.Н. Падерин	ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ	55
Д.И. Орёлкина, А.Л. Петелин, Ю.С. Юсфин, Г.С. Подгородецкий	ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВО ВНЕШНЕЙ ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ	58

А.А. Кожухов, А.С. Ткачев, Е.Н. Мельников, М.А. Гурьянов ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОГО (ТРУБЧАТОГО) ЭЛЕКТРОДА НА ХАРАКТЕР ГОРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ	66
Л.П. Петрова, Л.Н. Королькова СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛМАССИВА ГОРОДА СТАРЫЙ ОСКОЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	69
О.И. Малахова, В.В. Федина АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ	73
С.С. Пашнин, Э.Э. Меркер ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ НАГРЕВЕ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ	77
А.С.Тимофеева, Т.В. Никитченко, В.В. Федина. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ШИХТЫ НА КОМКУЕМОСТЬ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ	85
В.А.Степанов, Е.А.Черменёв, Э.Э. Меркер ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ ОКАТЫШЕЙ В ДУГОВОЙ ПЕЧИ	88
В.Б. Горбунов, Г.С. Подгородецкий НАПРАВЛЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ОБЖИГЕ ОКАТЫШЕЙ	93

**СЕКЦИЯ: АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И
ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Т.А. Аверина ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОДВИЖЕНИИ ТОВАРОВ И УСЛУГ.....	101
С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Д.Н. Золоторев АЛГОРИТМ СИНТЕЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМОВ ОПЕРАЦИЙ	106
С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, М.А. Пинаева АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ	115
С.А. Баркалов, М.А. Пинаева ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	128
О.Н. Бекирова, О.Ю. Корчевский РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА	140

С.Л. Блюмин, К.В. Серова, А.С. Сысоев ЛАГРАНЖЕВ АНАЛИЗ КОНЕЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	147
Л.М. Боева, О.Н. Основина ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	153
О.А. Верзилина, Ю.Р. Копылов, С.Ю. Копылов АЛГОРИТМЫ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОЦЕССА ВИБРОУДАРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA	158
М.Г. Данилова, К.С. Гамбург, С.Ю. Чернышов МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЖКЛЕТЕВОГО НАТЯЖЕНИЯ ПРОКАТНОГО СТАНА	163
М.Г. Данилова, К.С.Гамбург, С.Ю. Чернышов МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ	168
Е.Г. Доронина ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПЕРЕГОВОРОВ АГЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИГР	173
А.Ю. Ерёменко ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ ОБЖИМНЫХ КЛЕТЕЙ СОРТОПРОКАТНОГО ЦЕХА	178
А.Ю. Ерёменко ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ И СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМИ РАБОТАМИ НА ОБЪЕКТАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	186
Ю.И. Еременко, А.И. Глущенко, Д.А. Полещенко, В.А. Петров О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОДСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА	193
Ю.И. Еременко, А.А. Невзоров ОБ ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЗАГРУЖЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА ШАХТНОЙ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ	198
Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, А.И. Глущенко ОБ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ.....	203
Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, А.И. Глущенко РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	208

Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, А.И. Глущенко, А.В. Фомин АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧАМИ НАГРЕВА ПРОКАТНЫХ СТАНОВ	213
Ю.И. Еременко, С.Ю. Халапян, Д.Ю. Ярмуратий О ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ И ПРОЦЕССАМИ	218
Е.П. Зацепин, А.В. Галкин МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СЛОЕ РАФИНИРОВОЧНОГО ШЛАКА В АГРЕГАТАХ ПЕЧЬ-КОВШ	222
Н.И. Ковтун РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕГИСТРАЦИИ ПРОБ И РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ФЕРРОСПЛАВОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ	227
О.Ф. Козырь ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	232
В.А. Кривоносов, В.А. Бабенков АДАПТИВНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	236
В.А. Кривоносов, А.С. Митин ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ МЕТАЛЛА В СТАЛЬКОВШЕ И ПРОМКОВШЕ МНЛЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ	242
В.А. Кривоносов, Д.С. Пирматов ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ОБЖИГА ОКАТЫШЕЙ В КОНВЕЙЕРНОЙ ОБЖИГОВОЙ МАШИНЕ	247
А.П.Михайлов, А.Н.Сапрыкина О ПРИБЛИЖЕННОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ СЛИТКА В ЗОНЕ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....	252
Е.А. Михайлюк УПРАВЛЕНИЕ ЗАРЯДОВЫМ СОСТОЯНИЕМ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ InAs В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С ТОНКИМИ СЛОЯМИ In_2Te_3 И $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$ ($x \sim 0,65$)	254
С.И. Моисеев, Ю.В. Киреев, В.С. Кобелев МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЛАТЕНТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ С НЕПРЕРЫВНЫМИ МНОЖЕСТВАМИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	258

С.И. Моисеев, В.С. Кобелев, А.Ю. Зенин ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВЫ, ОСНОВАННЫЙ НА ПОДХОДЕ МЕТОДА РАША	270
А. В. Молодых ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ	279
О.Н. Основина, Л.М. Боева ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СТРАТЕГИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ.....	284
С.Л. Подвальный, Е.М. Васильев МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ	289
А.И. Половинкина, А.Л. Ухин, А.Ю. Зенин МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА	295
К.А. Положенцев ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ВАКУУМНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ	307
А.В. Попов, С.Н. Серегин, М.А. Горпинченко СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	312
Л.П. Рыжова, А.В. Путненко АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	316
А.Н. Сапрыкина, А.П. Михайлов МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО СЛИТКА.....	319
П.В. Сараев, А.В. Галкин НЕЙРОСТРУКТУРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПРОДУКЦИИ	321
М.Е. Семенов А.Г. Рукавицын, Е.А. Фомина СТАБИЛИЗАЦИЯ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА НА ДВУХКОЛЕСНОМ ТРАНСПОРТНОМ СРЕДСТВЕ	327
А.Г.Симонова, Т.И. Лазарева, Е.Н.Шафоростова РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЯ ТОВАРА ЗАО «БЕЛСТАР-ФАРМ».....	337
А.Ю. Соловьев, П.В. Голоконников О ВОЗМОЖНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ БЕТА-РИТМОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА	342

В.В. Сотников КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ МАГНИТНОГО ЭКРАНА КАТУШЕК ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ ER2 СТАНА 350 ОАО «ОЭМК»	346
Л. В. Уварова МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 2-ГО ПОДЪЕМА ЦХХ ОАО СГОК	350
В.А. Филатов, Е.Б. Чапланова, В.А. Радченко РЕИНЖИНИРИНГ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОИСКА И АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЗАВИСИМЫХ АТТРИБУТОВ	355
М.А. Цуканов, О.П. Ульянова КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ	360
Е.В. Шаманская ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ СЕРВИСА.....	365
С.В. Шевляков, Ю.И. Еременко ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО ВАРЬИРУЕМОЙ НАГРУЗКИ	369

Научное издание

Современные проблемы
горно-металлургического комплекса.
Наука и производство

Материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической
конференции, с международным участием

3-5 декабря 2014г.

г.Старый Оскол

Отпечатано в типографии управления делами ОАО «ОЭМК»