

ОБЪЕМНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ В ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОМ КАЛИБРЕ

Анотація. Виконано аналіз деформаційних особливостей осередку деформації при прокатці в чотирьохвалковому калібрі, у результаті аналізу трансформації базового обсягу металу (одиночного обсягу) виявлені характерні обсяги осередку деформації, установлений функціональний взаємозв'язок між ними. Введені додаткові параметри й характеристики осередку деформації – основні, які включають нові характерні обсяги, і допоміжні: лінійні, кутові й безрозмірні параметри. На основі встановлених взаємозв'язків деформаційних параметрів стає можливим внести уточнення в недостатньо розкриті питання теорії прокатки, використання виявлених закономірностей дозволяє створити більш точні методи розрахунків кінематичних і енергосилових параметрів прокатки для розв'язання прикладних завдань.

Ключові слова: прокатка, валок приводний, валок не приводний, осередок деформації, одиночний об'єм, залишковий об'єм.

Объемные преобразования при прокатке скрыты и малодоступны для прямого изучения, по этой причине многие выводы относительно объемных перемещений выполняются на основе закономерностей контактного взаимодействия [1-4 и др.]. Сведения об объемных преобразованиях в очаге деформации при прокатке, полученные на основе контактного взаимодействия металла с валком, являются неполными и по причине недостаточности информации выводы не всегда адекватно отражают явления, происходящее в объеме очага деформации. Следствием сказанного являются нерешенные задачи [5], спорные положения и противоречия в современной теории прокатки [6-8]. Исследователями предпринимаются попытки решить проблемные вопросы теории, но часто это происходит опять-таки на основе закономерностей контактного взаимодействия [6-8]. Еще более скрытым является характер объемных преобразований в очаге деформации при прокатке в четырехвалковом калибре, образованном двумя парами приводных и не приводных валков. Включение не приводных валков вносит свои изменения в характер взаимодействия металла с

валками, образующими калибр, исследователи стремятся углубить представления о течении металла, используя, в частности, экспериментальные методы [9], но в целом объемные признаки четырехвалкового очага деформации продолжают оставаться малоизученными.

Целью настоящей работы является анализ деформационных особенностей очага деформации при прокатке в четырехвалковом калибре, выявление закономерностей объемного течения металла, разработка объемных характеристик и параметров, установление характерных объемов и взаимосвязей между ними. В основе предлагаемых подходов лежат физические признаки объемного течения металла при прокатке и уточненные представления о характере взаимодействия металла с валком. На основе установления взаимосвязи деформационных и объемных кинематических параметров прокатки становится возможным внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки и в конечном итоге достичь необходимой точности решения прикладных задач.

Для анализа деформационных особенностей четырехвалкового очага деформации рассмотрим прокатку прямоугольной полосы. Одной из деформационных особенностей такого процесса является характер формоизменения раската в местах сопряжения его граней. Названная особенность учитывается в разработках калибровок в форме правила вписанных фигур [10]. В соответствии с указанным правилом угловые участки исходного профиля должны иметь определенную форму, например, притупление в виде, показанном на рис.1, с тем, чтобы избежать переполнения калибра. Рассмотрим один из простых случаев – прокатку прямоугольной полосы с отношением сторон прямоугольника, близким к единице. При названном отношении сторон диагональное уширение металла практически отсутствует. Используем общепринятые обозначения геометрических и деформационных параметров, дополнив их индексами «п» и «н», относящимися к приводным и не приводным валкам, соответственно. Для контроля соблюдения правила вписанных фигур вводятся обозначения ширины контактной поверхности металла с валком – размеры h и b с индексами «к»; обжатие со стороны не приводных валков обозначено Δb^* . Вводятся дополнительные параметры, их суть поясняется рисунками 2-4.

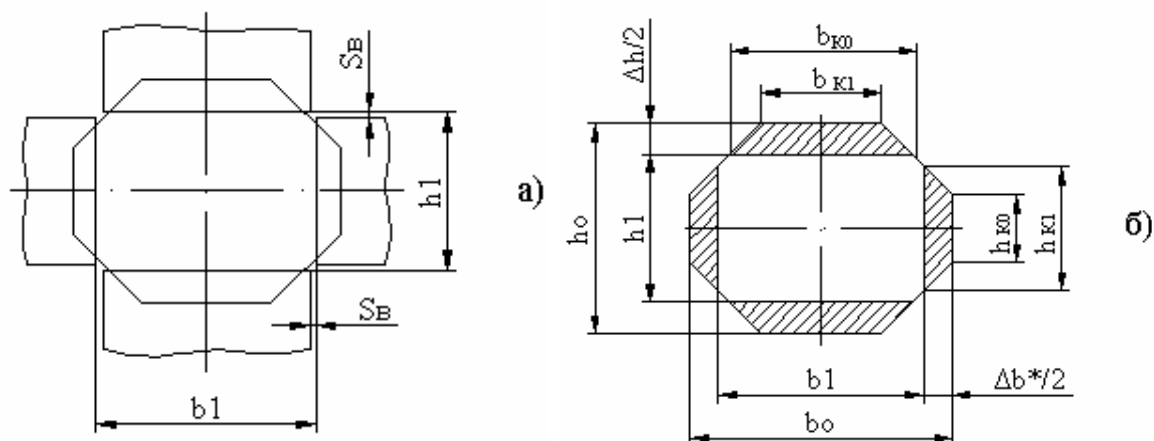


Рисунок 1 - Схема прокатки в четырехвалковом калибре:

а) калибр и задаваемый раскат; б) размеры раската до прокатки и после; заштрихованная область – смещенная площадь при прокатке

На рис. 2 представлен общий вид четырехвалкового очага деформации с примыкающими внешними зонами, на рис. 3 – единичный объем V_e . Названный объем является исходным при рассмотрении стоящей задачи, он заключен между рабочими поверхностями обеих пар валков и границами входа металла в валки и выхода из них (рис. 3). Единичный объем состоит из двух характерных объемных частей – за время поворота приводного валка на угол α_{II} часть металла выходит за пределы плоскости валков (объем V_1 на рис. 4), а вторая остается в очаге деформации, в его выходной области (объем ΔV на рис. 4). Указанные признаки объемного перемещения металла были установлены при прокатке в двух гладких валках на основе анализа и подтверждены экспериментально [11], на рис. 5 показаны образцы-недокаты, которые использовались в исследованиях. Названное обстоятельство (неполный выход объема V_e за пределы очага деформации) ранее не привлекало внимание исследователей, вместе с тем, указанный факт является весьма существенным и одним из элементов в воссоздании картины объемного течения металла.

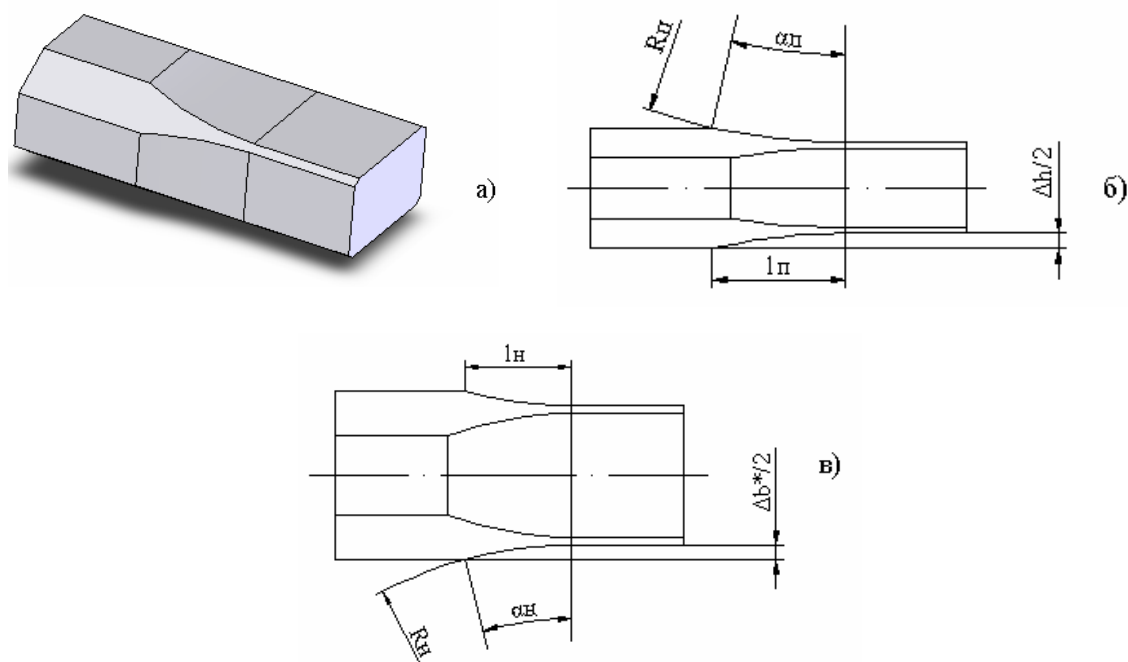


Рисунок 2 - Четырехвалковый очаг деформации с примыкающими внешними зонами: а) общий вид; б) вид со стороны неприводного валка; в) вид со стороны приводного валка

Указанная особенность при перемещении объемов металла имеет место и при прокатке в четырехвалковом калибре. Входной границей четырехвалкового очага деформации является плоскость, соответствующая углу контакта α_{II} , выходной – плоскость осей валков. Указанные границы предполагают использование гипотезы плоских сечений, названная гипотеза нашла широкое применение в теории прокатки, несмотря на то, что она выполняется с достаточной точностью лишь в ограниченных случаях. Исследователи предпринимают попытки исключить гипотезу плоских сечений из рассмотрения задач теории прокатки [12, 13], однако эффективных альтернативных решений пока не создано. В рассматриваемой задаче применение гипотезы плоских сечений целесообразно для установления границ характерных объемов очага деформации, в другой форме это было бы трудноосуществимо. Использование гипотезы плоских сечений в нашем случае полезно в качестве инструмента наглядности, она позволяет наглядно показать перемещение металла в очаге деформации и за его пределами. Другим допущением является исключение из рассматриваемой задачи опережения металла на контакте с приводным валком ($СП = 0$). Принимая допущение, что опережение отсутствует, вводим погрешность, соизмеримую с величиной опережения, назван-

ная погрешность составляет всего несколько процентов и является достаточно прогнозируемой по своей величине. В теории прокатки в качестве еще одного допущения часто рассматривают плоскую задачу, принимая, что уширение равно нулю. В рассматриваемом случае нет необходимости прибегать к названному допущению, поскольку поперечное перемещение металла ограничено неприводными валками.

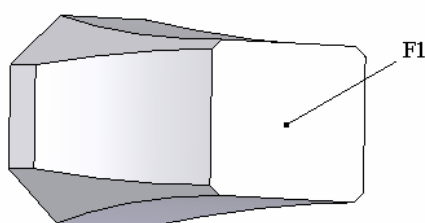


Рисунок 3 - Единичный объем V_e в четырехвалковом очаге деформации

На рис. 2-4 приведены основные и дополнительные объемные параметры четырехвалкового очага деформации. Основными параметрами являются те, которые содержат величину объема, к дополнительным относятся линейные, угловые и безразмерные. Каждая из названных величин имеет свое происхождение, они возникают в ходе преобразования исходного (базового) объема. V_e . На рис.2 и 4 показаны:

V_1 – объем металла, вышедшего из очага деформации за период поворота валка радиусом R_{II} на угол α_{II} ,

ΔV – остаточный объем – оставшийся в очаге деформации после поворота валка на угол α_{II} .

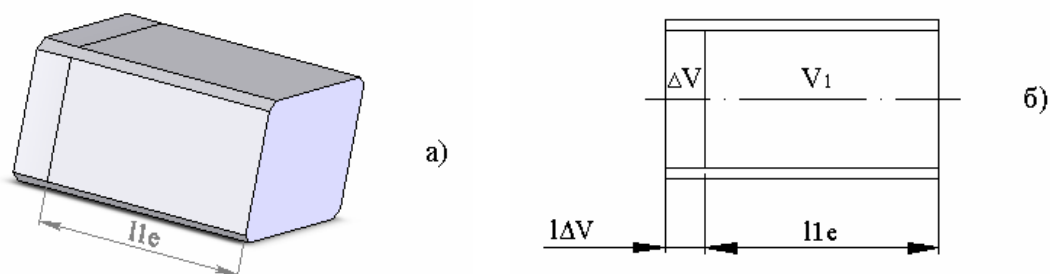


Рисунок 4 - Объем металла, вышедшего из очага деформации (V_1) и остаточный объем (ΔV); а) общий вид объемов V_1 и ΔV , б) вид со стороны неприводного валка

Другими (дополнительными и вспомогательными) параметрами являются:

l_{1e} - длина раската, вышедшего из очага деформации за период поворота валка на угол α_{II} . На основе вышеназванного допущения об отсутствии опережения ($SP = 0$) указанная длина составит:

$$l_{1e} = R_{II} \alpha_{II} \quad (1)$$



Рисунок 5 - Образцы в экспериментальных исследованиях перемещений объемов в очаге деформации: а) исходный образец, б) образец после прокатки

Объем металла, вышедшего из очага деформации, составит:

$$V_1 = R_{II} \alpha_{II} F_1 \quad (2)$$

$\alpha_{\Delta V}$ - центральный угол, соответствующий положению входной границы объема ΔV ;

$l_{\Delta V}$ - протяженность участка очага деформации, соответствующего углу $\alpha_{\Delta V}$;

$F_{\Delta V}$ - площадь поперечного сечения раската в плоскости, соответствующей выходной границы остаточного объема ΔV ;

$\lambda_{\Delta V} = F_{\Delta V} / F_1$ - коэффициент вытяжки на участке $l_{\Delta V}$.

За время поворота валка на угол α_{II} металл, вышедший за плоскость валков, занимает объем равный V_1 , в пределах очага деформации остается объем, равный ΔV , названные объемы показаны на рис. 4.

Кинематическая взаимосвязь между парами валков определена условием, что за период поворота приводного валка на угол α_{II} и, соответственно, прохождения им расстояния $l_{1e} = R_{II} \alpha_{II}$, не приводной пройдет такое же расстояние, то есть:

$$R_{II} \alpha_{II} = R_H \theta_{\alpha II}, \quad (3)$$

где $\theta_{\alpha\Pi}$ - угол, на который повернется неприводной валок при повороте приводного на угол α_{Π} .

Из выражения (3) следует:

$$\theta_{\alpha\Pi} = \frac{R_{\Pi}}{R_H} \alpha_{\Pi} \quad (4)$$

На практике отношение радиусов неприводных и приводных валков чаще всего составляет:

$$R_H / R_{\Pi} = 0,6...0,9 \quad (5)$$

В условиях соотношения (5) и близких значениях углов контакта на приводном и неприводном валках объемы, перемещенные обеими парами валков в продольном направлении, будут соизмеримы. В то же время на практике достаточно распространены случаи, когда имеет место обратная картина – упомянутые объемы значительно отличаются. Это может быть вызвано значительно меньшей величиной отношений R_H / R_{Π} , α_H / α_{Π} и $\Delta b^* / \Delta h$ по сравнению с теми, о которых говорилось выше, причем достаточным является участие одного из названных отношений. Это может происходить, например, при прокатке полосовых профилей. В этом случае полезной становится дополнительная информация [9] о возможных диагональных перемещениях металла и характере заполнения угловых участков калибра.

Изложенный подход может быть применен для более широкого класса задач, связанных с прокаткой в четырехвалковом калибре других простых профилей (круг, шестигранник и др.), а также фасонных – двутавровой балки, швеллера, рельсов и других фланцевых профилей.

Выводы. Получило дальнейшее развитие представление об особенностях объемного течения металла при прокатке в четырехвалковом калибре. В результате анализа трансформации базового объема металла (единичного объема) выявлены другие характерные объемы очага деформации, установлена функциональная взаимосвязь между ними. Введены дополнительные параметры и характеристики очага деформации: основные, включающие выявленные новые характерные объемы, и вспомогательные. Вторые являются следствием основных, к ним относятся линейные, угловые и безразмерные параметры. Выявленные особенности позволяют расширить представление о физической стороне процесса прокатки, взаимосвязях характерных объемов

очага деформации. На основе установленных взаимосвязей деформационных параметров становится возможным внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки. Использование выявленных закономерностей позволяет создать более точные методы расчетов кинематических и энергосиловых параметров прокатки для решения прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением/А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др.–М.:Металлургия,1976.–416 с.
2. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке.–М.:Металлургия,1973.–288 с.
3. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке/ Полухин П.И., Николаев В.А., Полухин В.П., и др. – М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
4. Тарновский И.Я., Леванов А.Н., Посеваткин М.И. Контактные напряжения при пластической деформации. – М.: Машиностроение, 1966. – 279 с.
5. Мазур В.Л. Нерешенные задачи теории и технологии прокатки. Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2002. – С. 33-36.
6. Долженков Ф.Е. О некоторых противоречиях современной теории прокатки// Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2002. – С. 121-124.
7. Зильберг Ю.В. О некоторых противоречиях и допущениях теории прокатки. Известия вузов, Черная металлургия, 2004. –№ 11. – С. 24-26.
8. Долженков Ф.Е. Уширение, опережение и вытяжка при продольной прокатке (О некоторых противоречиях современной теории прокатки). Известия вузов, Черная металлургия. – 2003. – № 5. – С. 41-44.
9. Нехаев Н.Е., Измайлова М.К., Важнова О.А. Экспериментальные исследования формоизменения при прокатке полосовых профилей в четырехвалковых калибрах// Сб. научн. тр. конф. «Обработка материалов давлением» Краматорск. Том 2. 2010, С. 204-208.
10. Поляков М.Г., Никифоров Б.А., Гун Г.Я. Деформация металла в многовалковых калибрах. –М.: Металлургия, 1979. – 242 с.
11. Огинский И. К. Экспериментальные исследования объемного течения металла при прокатке// Вестник Национального технического университета ХПИ.-Новые решения в современных технологиях.-Харьков: НТУ ХПУ-2010.- № 42.-С. 9-13.
12. Зильберг Ю.В. Элементы теории прокатки без теории плоских сечений// Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології». – 2002. – С. 102-111.
13. Илюкович Б.М., Ершов С.В., Толстопят А.Л. Методика построения математических моделей напряженно-деформированного состояния при прокатке сложных профилей с исключением гипотезы плоских сечений. Известия вузов, Черная металлургия.- 2004. – № 11. – С. 26-29.

В.Ю. Селивёрстов, Т.В. Михайловская

**РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПРИБЫЛЕЙ ОТЛИВОК,
ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И
ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ОБОГРЕВА**

Аннотация. Представлена методика расчета размеров прибылей отливок цилиндрической формы, затвердевающих при электрошлаковом обогреве металла и газодинамическом воздействии. Приведены номограммы для определения размеров прибыли отливки из углеродистой стали по ее массе при различном соотношении диаметра отливки к диаметру прибыли.

Ключевые слова Газодинамическое воздействие, электрошлаковый обогрев, технология, прибыль, расчет, номограмма.

Введение. Среди методов внешних физических воздействий в процессе кристаллизации давление занимает особое место по разнообразию форм приложения и степени эффективности для повышения качества литого металла и снижения его непроизводительных потерь. При воздействии на жидкую фазу в процессе затвердевания обеспечивается не только активное влияние на тепло- и массоперенос в жидкости, но и изменяется характер протекания процессов в двухфазной зоне и, как следствие, улучшается структура и свойства металла отливок. Поэтому актуальной проблемой является разработка новых процессов воздействия давлением на расплав внутри отливки вплоть до полного ее затвердевания.

Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи. Разработанная на кафедре литейного производства НМетАУ технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме [1 – 4] предполагает использование различных конструкций устройств, режимов осуществления и применима для разнообразных литейных сплавов [5 – 8]. При литье крупных отливок или слитков с высокой продолжительностью затвердевания особенно необходимо максимально полно использовать резерв перегрева расплава в прибыльной зоне.

© Селивёрстов В.Ю., Михайловская Т.В., 2011

Конструкция холодильника, при этом, должна не только обеспечивать герметизацию системы отливка-устройство для ввода газа, но и утепление максимально возможного объема металла в прибыли. Этим условиям удовлетворяет холодильник в виде металлического корпуса со вставкой из огнеупорного материала. Он может действовать по принципу плавающей прибыльной вставки, в том числе при осуществлении комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева металла в прибыльной зоне (КТГВ-ЭШО) [9, 10]. Для одной и той же отливки вставки могут быть выполнены из разных материалов, что приведет к изменению размеров вставки (прежде всего, толщины стенок) и, соответственно, размеров прибыли. Поэтому актуальной задачей является определение размеров прибыли при изменении размеров используемой вставки.

Целью работы является разработка расчетной схемы построения номограмм для определения высоты прибыли отливки при осуществлении комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева.

Результаты исследований. Функции прибыли при ктгв-эшо будет выполнять только тот объем металла, который находится внутри данной вставки под слоем утепляющей засыпки и расплавленного электропроводного флюса (рис. 1).

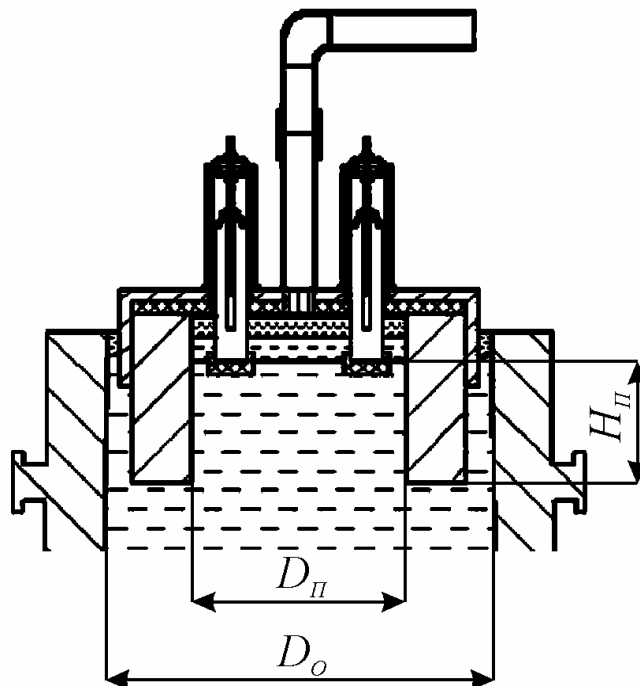


Рисунок 1 - Схема к расчету размеров прибыли при КТГВ-ЭШО

Массу металла в прибыли рассчитывали по формуле

$$m_{\Pi} = P_o e_o, \quad (1)$$

где P_o – масса отливки, кг, e_o – объемная усадка, безразмерная величина, измеряется в долях единицы.

Объем металла в прибыли

$$V_{\Pi} = \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} H_{\Pi}, \quad (2)$$

где D_{Π} – диаметр прибыли, м, H_{Π} – высота прибыли, м.

Объем металла в прибыли (2) при условии $k = D_o/D_{\Pi}$, вычисляли по формуле

$$V_{\Pi} = \frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi}, \quad (3)$$

где D_o – диаметр отливки, м, k – безразмерная величина, характеризующая соотношение диаметров отливки и прибыли.

Исходя из (3) масса металла в прибыли составляет

$$m_{\Pi} = \frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi} \rho, \quad (4)$$

где ρ – плотность материала отливки, кг/м³.

Приравнявая выражения (1) и (2) получим

$$P_o e_o = \frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi} \rho \quad (5)$$

Выражаем P_o через геометрические характеристики отливки и прибыли D_o , H_{Π} , k , а также параметры сплава отливки e_o и ρ :

$$P_o = \left(\frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi} \rho \right) / e_o \quad (6)$$

На рисунках 2 – 4 представлены номограммы для определения высоты прибыли (H_{Π}) по ее диаметру (D_{Π}) и массе (P_o) отливок цилиндрической формы из стали 35Л при различном соотношении диаметров отливки и прибыли (k). При построении номограмм использовались следующие данные для принятых свойств сплавов (табл. 1)

$$P_o = \left(\frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} H_{\Pi} \rho \right) / e_o. \quad (7)$$

Значения используемых параметров для расчета
массы и размеров прибыли

Марка сплава	Свойства	
	плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	объемная усадка, %
35Л	7830	3,8

Расчет производился для отливок диаметром 0,25 – 0,7 м при вариации отношения диаметра отливки к диаметру прибыли (k) 0,6, 0,65 и 0,7.

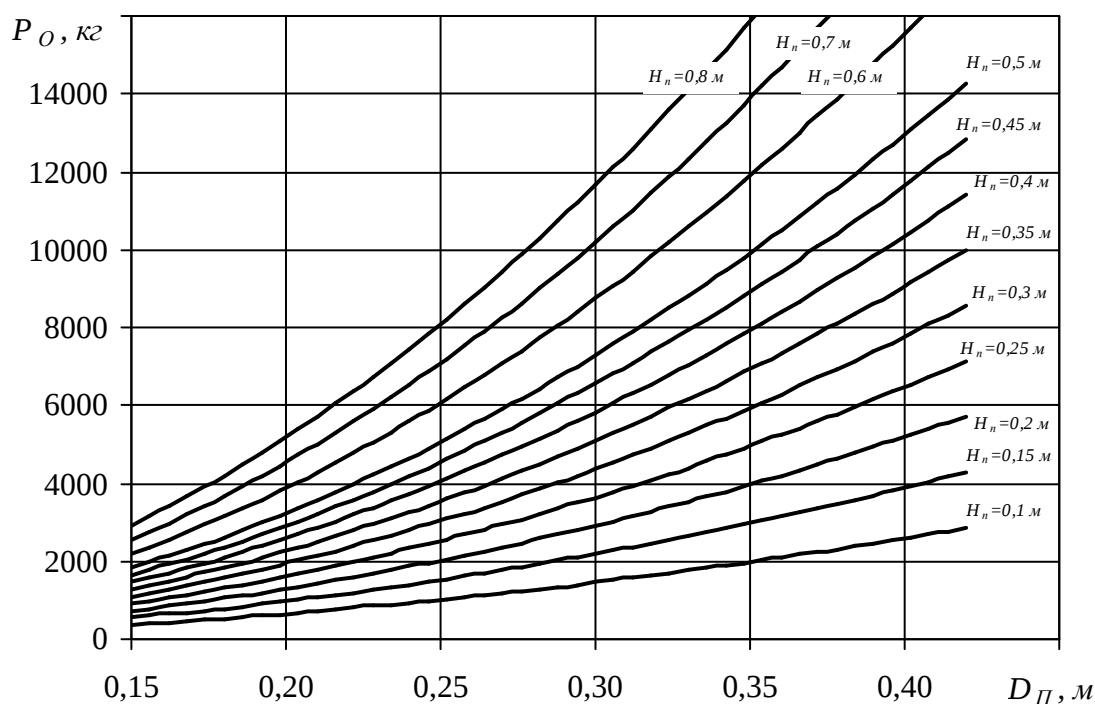


Рисунок 2 - Номограмма для определения высоты прибыли ($H_{П}$) по ее диаметру ($D_{П}$) и массе (P_O) отливки цилиндрической формы из стали 35Л при соотношении диаметров отливки и прибыли $k = 0,6$

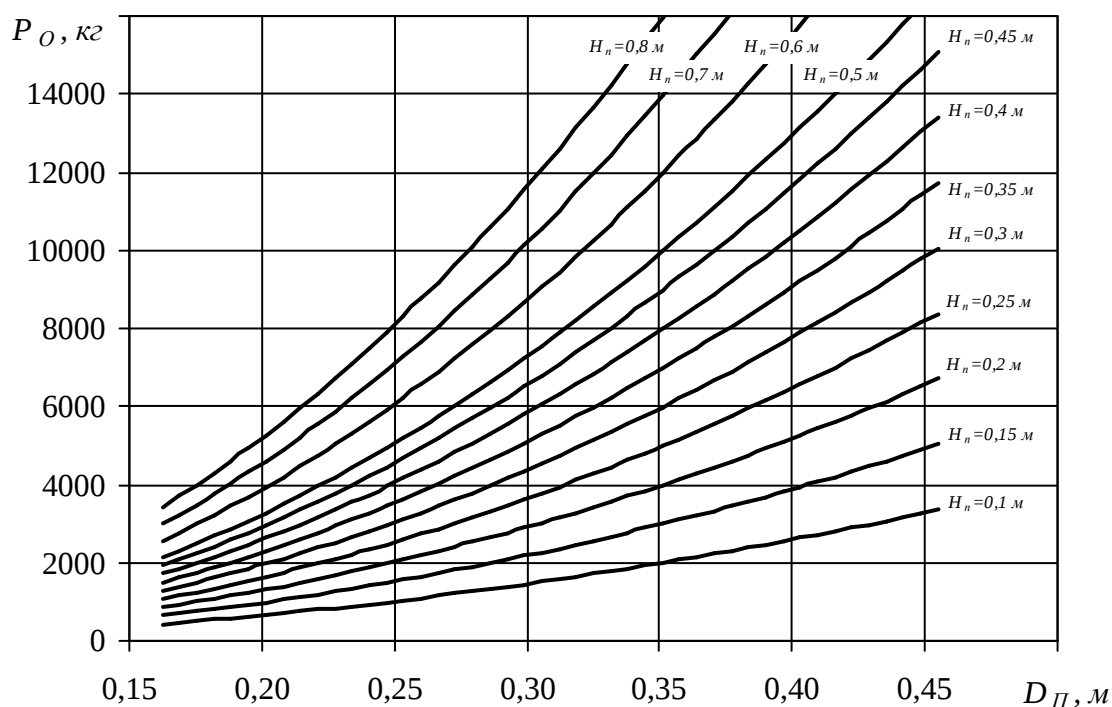


Рисунок 3 - Номограмма для определения высоты прибыли (H_{Π}) по ее диаметру (D_{Π}) и массе (P_O) отливки цилиндрической формы из стали 35Л при соотношении диаметров отливки и прибыли $k = 0,65$

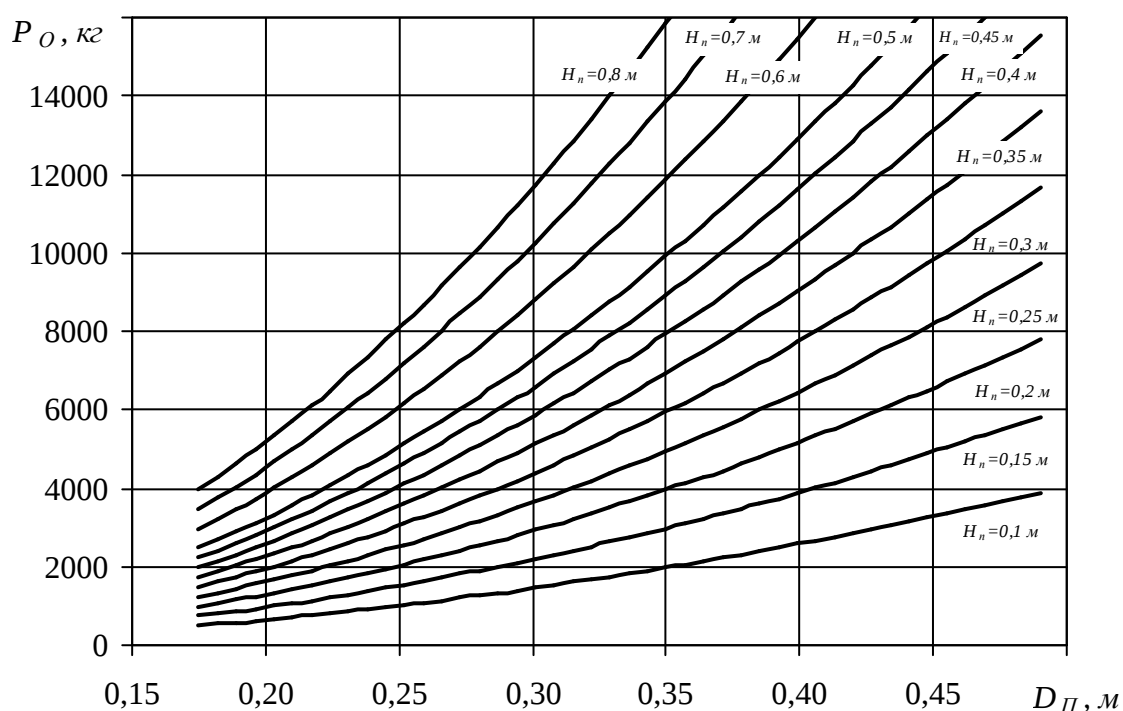


Рисунок 4 - Номограмма для определения высоты прибыли (H_{Π}) по ее диаметру (D_{Π}) и массе (P_O) отливки цилиндрической формы из стали 35Л при соотношении диаметров отливки и прибыли $k = 0,7$

Выводы

1. Разработана методика определения размеров прибылей отливок, изготавливаемых с использованием комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева, отличительной особенностью которой является учет возможности вариации размеров вставки, занимающей определенную долю объема прибыльной части отливки или слитка при использовании разных огнеупорных материалов.

2. Построены номограммы для определения высоты прибыли по ее диаметру и массе отливок цилиндрической формы из сталей 35Л, затвердевающей с использованием комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева металла в прибыли. Расчеты выполнены для отливок массой 200 – 16000 кг диаметром 0,25 – 0,7 м при вариации отношения диаметра отливки к диаметру прибыли 0,6, 0,65 и 0,7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 28858 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708968; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
2. Пат. 28859 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708969; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
3. Пат. 37838 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808859; заявл.07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
4. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
5. Хрычиков В.Е. Формовочные смеси для прибылей массивных отливок / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Ю.В. Доценко // Теория и практика металлургии. – 2004. - №6. – С.77-81.
6. Хрычиков В.Е. Формовочные смеси из вторичных материалов для прибылей отливок / В.Е. Хрычиков, В.Ю.Селиверстов, В.Ф. Мазо-

- рчук, Ю.В. Доценко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. - №4. - С. 34-36.
7. Селиверстов В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок / Селиверстов В.Ю. // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.
8. Селівьорстов В.Ю. Використання технології газодинамічного впливу на розплави при литті по витоплюваним моделям / В.Ю. Селівьорстов, П.Д. Куш // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2010. - № 4 – С. 89 – 94.
9. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меньяйло О.В., Савєга Д.О. – № u 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23.
10. Пат. 91943 Україна, МПК (2009) B22D 18/04, B22D 18/00. Пристрій для одержання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меньяйло О.В. – № а200906145; заявл. 15.06.2009; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.

Получено 25.12.2010г.

С.Р. Рахманов, П.В. Удовик

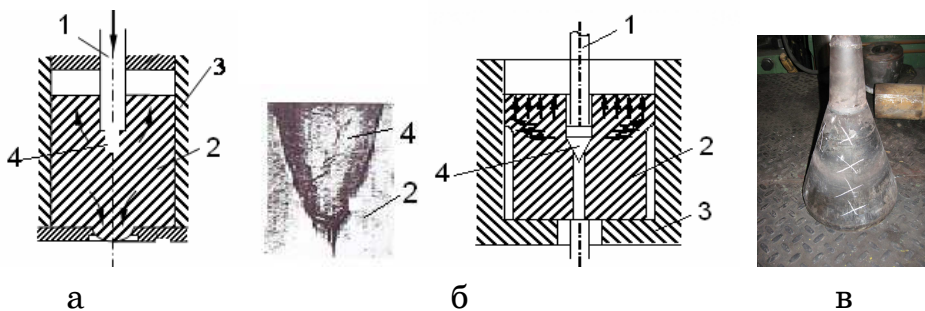
К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ОБРАЗУЮЩЕЙ ОПРАВКИ ПРОШИВНОГО ПРЕССА

Аннотация. Решена многофакторная вариационная задача о форме рабочей поверхности оправки минимального осевого сопротивления, выполненного в виде осесимметричного тела вращения для прошивки трубных заготовок на прошивном прессе.

Ключевые слова: оправка, прошивной пресс, труба, осевое сопротивление, металл, вариация, функционал

При реализации технологического процесса производства гильз (труб) на прошивных прессах осесимметричная оправка внедряется в трубную заготовку (металл), преодолевая сопротивление деформации металла вдоль оси прошивки [1, 2].

Вследствие несовершенства технологического процесса прошивки трубной заготовки рабочие поверхности технологических инструментов (оправки и контейнера) подвергаются интенсивному износу со стороны обтекающего потока металла. Это в свою очередь приводит к увеличению осевого сопротивления на оправку и стержневую систему механизма удержания оправки (рис. 1).



а, б – соответственно процессы прошивки трубной заготовки и экспандирования гильзы;

в – характерная картина износа эспандера

Рисунок 1 – Схема прошивки трубной заготовки, экспандирования гильзы и характерная картина износа эспандера прошивного пресса:

1 – стержень оправки; 2 – трубная заготовка;

3 – контейнер пресса; 4 – оправка (эспандер)

Для интенсификации технологического процесса и обеспечения максимальной эффективности процесса прошивки, при прочих равных условиях, необходимо подобрать такую форму оправки, которая при ее минимально-возможном сопротивлении обеспечит стабильное движение металла в очаге деформации. Это возможно путем рационального перераспределения энергосиловых и кинематических параметров очага деформации.

Реализация устойчивого технологического процесса прошивки трубной заготовки в гильзы возможна лишь в том случае, когда скорость внедрения оправки в трубную заготовку не превосходит скорость деформации металла и характер взаимодействия оправки с металлом является неупругим. Следовательно, при некотором допущении в этом случае оправку принимаем в виде абсолютно твердого тела. При этом можно предположить, что оправка, не нарушая сплошность заготовки (рабочей среды), как бы «раздвигает» в стороны частицы металла вдоль оси прошивки. Это говорит о справедливости гипотезы плоских сечений для рассматриваемой динамической модели очага деформации в процессе прошивки сплошной цилиндрической заготовки в гильзы [3, 4], (рис. 2.).

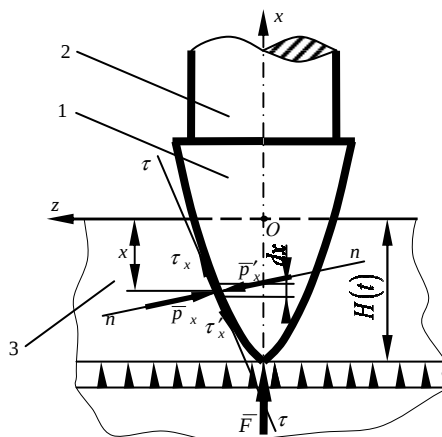


Рисунок 2 – Расчетная схема очага деформации в процессе прошивки трубной заготовки: 1 – оправка; 2 – стержень оправки; 3 – трубная заготовка

Как уже отмечалось, вследствие некоторых особенностей технологического процесса прошивки трубной заготовки и жесткого режима ее реализации, ограничимся рассмотрением стесненного очага деформации и проектированием рабочих инструментов для прошивных прессов. При этом, в выбранной системе координат, образующая осесимметричной оправки может быть задана в виде

$$f(x) = R(x), \quad (1)$$

где $f(x)$ – дважды дифференцируемая функция, удовлетворяющая исходным технологическим требованиям выпуклости формы образующей оправки $[f'(x) \geq 0; f''(x) < 0]$ (рис. 3).

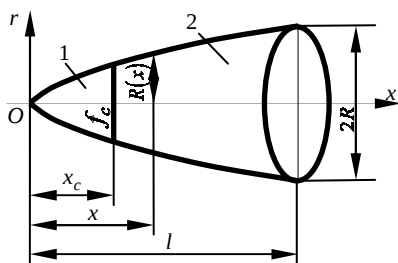


Рисунок 3 – Схема к определению формы образующей оправки прошивного пресса

Для рассматриваемых скорректированных моделей и принятых реологий рабочей среды сила осевого сопротивления оправки с учетом трения в очаге деформации, при известных предположениях, определяется функционалом

$$F = 2\pi \int_0^l p_0 [f'(x) + \mu_0] f(x) dx, \quad (2)$$

$$p_0 = A (f')^2 + B f f'' + G, \quad (3)$$

где p_0 – давление металла в очаге деформации при прошивке сплошной цилиндрической заготовки; μ_0 – коэффициент трения между прошиваемым металлом и оправкой в очаге деформации; A, B, G – соответствующие коэффициенты ($A \geq 0, B \geq 0, G \geq 0$), определяющие реальные термомеханические свойства прошиваемого металла.

При реализации стандартного технологического процесса прошивки в металле преимущественно перед оправкой в радиальном направлении движется некоторая пластическая (деформационная) волна. Поэтому коэффициенты уравнения (3) определенно зависят от следующих параметров прокатываемого металла: начальной плотности ρ_0 и плотности металла, расположенного впереди линий токов ρ_1 , величины сцепления металла с оправкой m , угла внутреннего трения θ , давления металла $\bar{p}_0$ и касательного напряжения на поверхности оправки $\bar{\tau}$.

При исследовании напряженно-деформированного состояния пластических или упругопластических сред для практических расчетов и определения коэффициентов уравнения (3), учитывающее реальные свойства металла как деформируемой рабочей среды, рекомендуется пользоваться выражениями согласно [5, 6], представленные в виде

$$A = \begin{cases} \frac{\chi_1}{1-\gamma} \left[a^{\gamma-1} - 1 + 2b_1(1+\gamma)a^\gamma + \frac{1-\gamma}{\gamma}(a^\gamma - 1) \right], & (\gamma \neq 0) \\ \chi_1(\ln a + b_1); & \gamma = 0. \end{cases} \quad (4)$$

$$B = \begin{cases} 2\chi_1 \frac{a^\gamma - 1}{\gamma}; & \gamma \neq 0; \\ \chi_1 \ln a; & \gamma = 0, \end{cases} \quad G = \begin{cases} p_0 + \tau_0 \varphi^{-1}(a^\gamma - 1); & \gamma \neq 0; \\ \tau_0 \ln a; & \gamma = 0, \end{cases}$$

где

$$b_1 = \rho / \rho_0 = \text{const}; \quad a = (1 - b_1)^{-1};$$

$$\tau_0 = 2m \cos \theta; \quad \varphi = \sin \theta; \quad \gamma = \frac{\varphi}{1 + \varphi};$$

$$2\chi = \rho_0 u^2; \quad 2\chi_1 = \rho_1 u^2.$$

Заметим, что реализация устойчивого технологического процесса прошивки сплошных цилиндрических заготовок в гильзы возможна лишь при определенных конфигурациях оправок. Поэтому необходимо определить класс допустимых функций формы образующих $f(x)$, для которых должно быть выполнено необходимое условие $[f'(x)]^2 \ll 1$ или $f'(x) = k_0, k_0^2 = 0(1) = \text{const}$.

Из уравнения для определения давления металла в очаге деформации (3), принятой расчетной схемы, физической моделей процесса прошивки и условиях безотрывного обтекания оправки потоком металла, получаем некоторое ограничение на класс допустимых функций

$$p_0 = A(f')^2 + Bff'' + G, \quad (5)$$

Для случая, когда $f'(x) \neq 0$ площадь поверхности оправки S и ее полезный объем V могут быть записаны в виде:

$$S = 2\pi \int_0^{x_k} f(x) dx = \int_0^{y_k} f(x) x' df; V = 2\pi \int_0^{x_k} f^2(x) dx = \int_0^{y_k} f^2(x) x' df, \quad (6)$$

где $y_k = r_k = d/2$ – радиус основания оправки; $x' = dx/df = 1/f'(x)$.

В некотором исходном приближении задачи принимаем, что $f(0) = 0$. Следовательно, проектирование оптимальной образующей оправки реализуемо в пределах выбранного класса допустимых функций, удовлетворяющих вышеприведенным условиям прошивки трубной заготовки (условия безотрывного обтекания оправки потоком металла).

Для удобства анализа условия соответствия формы оправки форме выпуклого тела, начальные условия задачи удобно выразить в форме

$$\begin{aligned} f'(x) - l^2 &= 0; g' - w^2 = 0; \\ Ag^2 + Bf(x)g + G - \beta^2 &= 0; \\ f'(x) - k_0 + \alpha^2 &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где l, w, α, β – действительные переменные вариационной задачи.

Следовательно, функция $g(x)$ определяется дифференциальным условием

$$f'(x) - g(x) = 0. \quad (8)$$

Таким образом, задача по определению формы оправки минимального осевого сопротивления, проникающей с постоянной скоростью в пластическую или другую моделируемую эквивалентную рабочую среду, размещенную в ограниченном объеме, сводится к вариационной задаче по определению переменных $f(x), g(x), \alpha(x), w(x), l(x), \beta(x)$. В целом, это позволяет минимизировать функционал осевого сопротивления при вышеперечисленных условиях деформации рабочей среды и процессах обтекания оправки металлом.

Необходимо отметить, что в этом случае решение многофакторной вариационной задачи эквивалентно отысканию экстремума уточненного функционала осевого сопротивления.

$$I = \int_0^l F(f, f', g, g', w, \alpha, l, \beta, \lambda_k) dx; \quad [k = \overline{1, 7}], \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} F = & (Ag^2 + Bfg' + G)(g + \mu_0)f + \lambda_3(x)(f' - g) + \lambda_4(x)(g' + w^2) + \\ & + \lambda_5(x)(f' - k_0 + \alpha^2) + \lambda_6(x)(Ag^2 + Bfg' + G - \beta^2) + \lambda_7(x)(f' - l^2) + \\ & + \lambda_1(x)f + \lambda_2(x)f^2; \end{aligned} \quad (10)$$

$\lambda_k(x)$ – множители Лагранжа, согласно [7].

Для рассматриваемой задачи условия трансверсальности вариаций произвольных переменных могут быть сформулированы в следующей форме (форме известной вариационной задачи Эйлера)

$$\begin{aligned} & [F - f'F_{f'} - g']_k \delta x_k + [F_{f'}]_k \delta y_k + [F_{g'}]_k \delta g_k + [F_{g'}]_0 \delta g_0 = 0; \\ & F_{f'} = \frac{\partial F}{\partial f'}; F_{g'} = \frac{\partial F}{\partial g'}. \end{aligned} \quad (11)$$

Индексы, указанные в уравнениях (11) 0 и k соответствуют значениям функций и вариаций переменных в начальных и конечных точках кривых, определяющих форму образующих проектируемых оправок. Выдвинутое условие (11) должно выполняться для любых допустимых вариаций $\delta x_k, \delta y_k, \delta g_k$. Учитывая, что на них не наложены дополнительные ограничения, из (4.31) следует, что

$$\begin{aligned} & [F - f'F_{f'} - g']_k \delta x_k = 0; [F_{f'}]_k \delta y_k = 0; \\ & [F_{g'}]_k \delta g_k = 0; [F_{g'}]_0 \delta g_0 = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Применив известное правило решения задачи с определенными ограничениями типа равенств и неравенств, изложенное в работе [6, 7], формируем необходимые и достаточные условия минимума определенной целевой функции. Следовательно, при этом получим, что вдоль экстремали должны быть выполнены следующие условия

$$\lambda_4(x) \geq 0; \lambda_5(x) \geq 0; \lambda_6(x) \leq 0; \lambda_7(x) \leq 0,$$

которые могут быть также получены непосредственно из необходимого условия минимума неопределенных множителей-условие Лежандра [2, 7].

Уравнение Эйлера в силу вышеизложенного для рассматриваемых условий задачи имеет вид

$$\begin{aligned} & dF_{g'}/dx - F_g = 0; \quad dF_{f'}/dx - F_f = 0; \\ & F_\alpha = 0; F_\beta = 0; F_l = 0; F_w = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Из последних четырех выражений вытекает следующее

$$\lambda_4(x)w = 0; \lambda_5(x)\alpha = 0; \lambda_6(x)\beta = 0; \lambda_7(x)l = 0. \quad (14)$$

Обращая внимание на постановку и условия задачи, на вариацию δg в начальной и конечной точках строгие ограничения не наложены. Следовательно, соотношения $[F_{g'}]_k \delta g_k = 0$ и $[F_{g'}]_0 \delta g_0 = 0$ должны всегда выполняться. Очевидно, они имеют вид

$$Bf_k^2(f'_k + \mu_0) + [\lambda_4(x)]_k + [\lambda_6(x)]_k + Bf_k = 0; [\lambda_4(x)]_0 = 0. \quad (15)$$

Поэтому можно записать, что $[\lambda_6(x)]_k = 0$, если $f_k = 0, \mu_0 > 0$. Этот случай соответствует экстремали (прямой), для которой $f' \equiv 0$.

Анализируя случай

$$[\lambda_6(x)]_k = 0, \text{ если } f_k \neq 0, \mu_0 > 0, \quad (16)$$

предположим

$$[\lambda_4(x)]_k = -Bf_k^2, (f'_k + \mu_0) < 0, \quad (17)$$

$$\beta_k = 0.$$

Условие (17) на основании (7), в частности, означает, что экстремаль не содержит отрезка $f' = 0$. Тогда из (7) и (14) получим $\lambda_7(x) = 0$.

С учетом (14) в развернутой форме распишем первые два уравнения Эйлера

$$\begin{aligned} \lambda_3(x) + \lambda'_4(x) + \lambda'_6(x)Bf - \lambda_6(x)g(2A - B) &= (3A - 2B)g^2f + 2\mu_0(A - B)gf + Gf; \\ \lambda'_3(x) - \lambda'_5(x) &= (Ag^2 - 2Bfg' + G)(g + \mu_0) + \lambda_6(x)Bg' + \lambda_1(x) + 2\lambda_2(x)f. \end{aligned} \quad (18)$$

В силу того, что подинтегральная функция F не содержит в явном виде переменную x , существует первый интеграл уравнения Эйлера

$$F - f'F_{f'} - g'F_{g'} = C_1 = \text{const}, \quad (19)$$

или в развернутом виде

$$\begin{aligned} (Ag^2 + G)(g + \mu_0)f &= \lambda_6(x)(Ag^2 + G) + \lambda_3(x)g + \lambda_5(x)k_0 + \\ &+ C_1 - \lambda_1(x)f - \lambda_2(x)f^2. \end{aligned} \quad (20)$$

На основании (20) и первого из соотношений (18) с учетом (19) получаем следующее основное уравнение вариационной задачи

$$\begin{aligned} [2(A - B)(f')^3 + \mu_0(A - 2B)(f')^2 - \mu_0G]f &= \\ = -C_1 + \lambda_1(x)f + \lambda_2(x)f^2 + \lambda'_4(x)f' + \lambda'_5(x)k_0 + \lambda_6(x)G + \lambda'_6(x)f'Bf - \\ - \lambda_6(x)(f')^2(A - B), \end{aligned} \quad (21)$$

где в соответствии со свойствами рабочей среды (прокатываемого металла) известно, что $A - B > 0, A - 2B < 0$.

При проектировании рационального профиля оправки, с учетом результатов известных работ [5, 6, 7], должно быть соблюдено

условие Вейерштрасса – Эрдмана в точках сопряжения дуг экстремали его образующих

$$\Delta[F - f'F_{f'} - g']\delta x_c + \Delta[F_{g'}]\delta f'_c + \Delta[F_{f'}]\delta f_c = 0, \quad (22)$$

где Δ – разность значений до и после точки сопряжения образующей оправки с координатами (x_c, y_c) ; f'_c – производная функции образующей оправки в этой точке.

Если на поведение функции в точке сопряжения образующей оправки не наложены дополнительные условия, то ранее выдвинутые условия в развернутой форме переписутся в виде

$$\begin{aligned} \Delta[\lambda_6(x)(A(f')^2 - G) - \lambda_3(x)f' - \lambda_5(x)k_0] &= 0; \\ \Delta[\lambda_4(x) - \lambda_6(x)Bf] &= 0; \Delta[\lambda_3(x) - \lambda_5(x)] = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Из этого уравнения соотношений (23) с учетом (24) следует, что функции $\lambda_4(x), \lambda_6(x)$ непрерывны, и так как $\lambda_4(x) = Bf_c\lambda_6(x)$, то

$$\lambda_4(x_c) = \lambda_6(x_c) = 0. \quad (24)$$

На основании (7) и (8) можно предположить, что

$$\begin{aligned} \lambda_4(x) &= 0; \lambda_5(x) = 0, \text{ если } \lambda_6(x) \neq 0; \\ \lambda_6(x) &= 0, \text{ если } \lambda_4(x) \neq 0; \lambda_5(x) \neq 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Поэтому из (23) и (17) получим, что экстремаль образующей оправки должна заканчиваться некоторой дугой

$$A(f')^2 + Bff'' + G = 0. \quad (26)$$

Образующая оправки с дуги (26) начинаться не может, поскольку для кривой (26) $f'(0) \rightarrow \infty$, что противоречит условиям (7). Поэтому $\lambda_6(x) = 0$. Итак, показано, что если функция $f(x)$ минимизирует функцию осевого сопротивления (2) при условиях (1), (6) – (7) и заданных условиях на концах интервала, то должны существовать зависящие от x величины $w, \alpha, \beta, \lambda_k$, удовлетворяющие вышеприведенным условиям и уравнениям.

Отметим, что если величина x_k произвольна, то из (12) и (19) получаем $C_1 = 0$.

Если произвольны величины S и V , то соответственно будут выполнены следующие соотношения

$$\lambda_1(x) = 0, \lambda_2(x) = 0. \quad (27)$$

Особенно важное значение имеет проектирование и создание ряда оправок минимального сопротивления при задании одного из определяющих геометрических параметров.

Рассмотрим решение поставленной вариационной задачи по оптимизации формы оправки при различных случаях задания одного из определяющих ее форму геометрических параметров (объема V , площади поверхности S , длины l , максимального диаметра d).

Во всех перечисленных случаях, как следует из (15), (16), (20) и (25) должны быть выполнены условия

$$\begin{aligned}\lambda_6(x) &= -f'_k(f'_k + \mu_0); \lambda_4(x) = \lambda_6(x) = 0; \\ \lambda_4(x_c) &= \lambda_6(x_c) = 0.\end{aligned}\tag{28}$$

Для наиболее распространенных случаев, когда диаметр оправки произволен (имеет разбег), из (11) и (12) получаем

$$[F_{f'_k}] = [\lambda_3(x) + \lambda_5(x) + \lambda_7(x)]_k = 0.\tag{29}$$

При задании одного геометрического параметра оправки решение задачи с $f(x) \neq 0$ не существует.

Действительно, предположим, что выполнено условие (16), тогда получаем (14). При этом экстремаль образующей оканчивается дугой (26), но из известных условий (28) и (25) следует, что

$$\lambda_3(x) = 0, \lambda_5(x) = 0.\tag{30}$$

Подставляя полученное в первое условие из (28) в уравнение (21), независимо от задания параметров l, V или S – получаем, что

$$C_1 = \lambda_1(x) = \lambda_2(x) = 0.\tag{31}$$

Для дуги (26) из (21) имеем

$$\lambda_3(x)g = -Bfg'[(g + \mu_0)f + \lambda_6(x)].\tag{32}$$

Так как на дуге (26) $\lambda_5(x) \equiv 0$, то из второго уравнения (18) и (32) для функции $\lambda_3(x)$ получаем

$$\lambda_3(x)f = A_0 = \text{const}.\tag{33}$$

При соблюдении условия (31) уравнение (33) на дуге образующей оправки выполнено всегда. С учетом (30) и (33) получаем $\lambda_3(x) \equiv 0$.

Так как $\mu_0 > 0, f' \geq 0$ – то из (32) следует, что выполнение третьего условия возможно лишь в случае, если $f_c = 0$. Это в свою очередь возможно лишь тогда, когда экстремалью будет дуга

$$f \equiv 0. \quad (34)$$

Полученный результат в корне противоречит условию (16). Следовательно, при задании одного из известных параметров l, V или S экстремаль должна удовлетворять условию (15). При этом дуга (34) будет решением задачи, если удовлетворяются граничные условия на l, V и S . Однако необходимо отметить, что в противном случае решение задачи не существует в общем виде. Тогда следует изменить исходную постановку задачи.

При задании только длины оправки l решением задачи будет дуга (34), где выполнено единственное граничное условие. При задании $S \neq 0$ или $V \neq 0$ дуга (34) не может быть решением задачи, так как ранее выдвинутое условие для S и V не выполняются. Следовательно, в этих случаях решение задачи не существует.

Теперь рассмотрим случай задания максимального диаметра основания оправки $d = 2R_0$. При этом, так как произвольны другие геометрические параметры оправки из (27) – (30), будут выполнены условия (31). Учитывая, что $d \neq 0$, то явно выполнено условие (16). Следовательно, последним участком экстремали оправки будет отрезок дуги (21) и на этой дуге функция $\lambda_3(x)$ удовлетворяет уравнению (33). Из уравнения (32) с учетом (28) получаем

$$[\lambda_3(x)f']_k = 0. \quad (35)$$

Если $\lambda_3(x) = 0$, то ранее выдвинутое условие (16) будет нарушено, следовательно, из (28) получаем

$$[\lambda_3(x)f']_k = 0; f'_k = 0. \quad (36)$$

Найдем при заданном диаметре оправки форму образующей оправки. Экстремаль удовлетворяет уравнению (21), которое при учете (31) запишем в виде

$$\begin{aligned} & [2(A - B)(f')^3 + \mu_0(A - 2B)(f')^2 - \mu_0 G]f = \\ & = \lambda'_4(x)f' - \lambda_5(x)k_0 + \lambda_6(x)G + \lambda'_6(x)ff'B - \lambda_6(x)(f')^2(A - B), \end{aligned} \quad (37)$$

Отсюда следует, что экстремаль не может содержать дугу, вдоль которой $w \neq 0; \beta \neq 0$.

В противном случае из (16) следовало бы, что $\lambda_4(x) = \lambda_5(x) = \lambda_6(x) = 0$. Но при этом условии получаем, что решением (33) будет конус $w = 0$. Это противоречит исходному предположению вариационной задачи. Следовательно, искомая экстремаль может

состоять только из двух дуг: $f'' = 0$ и $A(f')^2 + Bff'' + G = 0$. Однако необходимо отметить, что начинаться она может только с первой из этих дуг, а оканчиваться второй дугой.

Пусть теперь k_0 – известная постоянная. Покажем, что в зависимости от выполнения условий

$$\Phi(k_0) = 2(A - B)k_0^3 + \mu_0(A - 2B)k_0^2 - \mu_0G \geq 0; [\Phi(k_0) < 0], \quad (38)$$

получаем два класса независимых решений.

Если выполнено условие (38), то вдоль экстремали $\lambda_5(x) \equiv 0$. Тогда, как следует из (37), на дуге $f(x) = kx$ имеем

$$\lambda_4'(x) = \left[2(A - B)k^3 + \mu_0(A - 2B)k^2 - \mu_0G \right]_x. \quad (39)$$

Из (39) видно, что $\lambda_4'(x)$ – линейная функция, причем $\lambda_4'(x) = 0$. Если $\lambda_4'(x) \neq 0$, то получаем, что невозможно удовлетворить $\lambda_4(x) = 0, \lambda_4(x_c) = 0$. При этом x_c координата точки сопряжения дуги образующей и входного конуса оправки.

Следовательно, показано, что при условии (28) экстремаль начинается с образующей конуса $f(x) = kx$, где k определяется из уравнения $\lambda_4(x) = 0$, или $\Phi(k) = 0$. Очевидно в этом случае имеем

$$2(A - B)k^3 + \mu_0(A - 2B)k^2 - \mu_0G = 0. \quad (40)$$

Пусть теперь выполнено условие (38). Тогда, так как для допустимых k выполнено условие $k < k_0$, то условие (38), согласно общему виду функции $\Phi(k)$ будет выполнено для всех возможных k . Если предположить, что вдоль экстремали $\lambda_5(x) \equiv 0$, то левая часть уравнения (37) меньше нуля для всех $f > 0$. Значит, на дуге $f = kx$ для $x > 0$ будем иметь $\lambda_4'(x) < 0$, что противоречит условиям $\lambda_4(x) = 0$ и $\lambda_4(x) \geq 0$. Следовательно, предположение о том, что $\lambda_5(x) \equiv 0$ неверно. Поэтому в случае выполнения условия (37) экстремаль должна начинаться с дуги.

Рассмотрим случай

$$f(x) = k_0x. \quad (41)$$

При выполнении любого из выдвинутых условий (37) и (38) экстремаль должна заканчиваться отрезком дуги (36).

Найдем ординату точки сопряжения этой дуги и образующей входного конуса $f = kx$. Для этого решим дифференциальное уравнение (26), используя условие (36). Тогда

$$f'(x) = \left[\left(\frac{C_0}{f(x)} \right)^\alpha - \frac{G}{A} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (42)$$

где $C_0 = R \left(\frac{G}{A} \right)^{\frac{1}{\alpha}}; \alpha = \frac{2A}{B}$.

В точке сопряжения $f'_c = k$, поэтому из (42) получим

$$f_c = C_0 \left(k^2 + \frac{G}{A} \right)^{-\frac{1}{\alpha}} = R \left(\frac{A}{G} k^2 + 1 \right)^{-\frac{1}{\alpha}}. \quad (43)$$

Из выражения (42) получаем явный вид дуги (26) в форме

$$x = \int_{x_c}^R \left[\left(\frac{C_0}{f(x)} \right)^\alpha - \frac{G}{A} \right]^{\frac{1}{2}} df + C_1, \quad (44)$$

где C_1 – постоянная, которая определяется по известным из (44) координатам точки сопряжения ($x_c = f_c / k, f_c$). Следовательно, формулы (40) или (45) и (44) полностью определяют экстремаль формы образующей оправки при задании максимального ее диаметра (рис. 3).

Для проверки справедливости предложенной методики расчета рациональной формы образующей оправки в качестве примера выбираем моделируемый технологический процесс прошивки трубной заготовки с некоторыми ограничениями на применение гипотезы плоских сечений для несколько нетрадиционной реологии рабочей среды. Заметим, что разработанные методы анализа могут быть целиком использованы для случая, когда строго справедлива гипотеза плоских сечений для выбранной модели очага деформации и других рассматриваемых технологических процессов. При прошивке трубных заготовок (металлов) на прошивном прессе трубопрессовой установки, моделируемых в частности как упругопластическая среда, для которых осевое сопротивление на оправку также определяется функционалом с известными коэффициентами [5, 6, 7], следует учитывать, что

$$A = \chi \left[\ln(1 + \varepsilon) - \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \right]; B = \chi \ln(1 + \varepsilon); G = \tau [1 + \ln(1 + \varepsilon)]; \varepsilon = \frac{E}{2\tau(1 + \nu)}, \quad (46)$$

где τ – предел текучести металла при сдвиге; E – модуль упругости прошиваемого металла; ν – коэффициент Пуассона.

На основании полученных результатов и расчетных формул (42),(43) и (44) составлена программа расчета рационального профиля образующей рабочей поверхности оправки прошивного прессы. Это позволяет определить целую гамму экстремалей для образующей оправки и штампов для их производства в рамках рассматриваемых принятых моделей очага деформации прошивного прессы и реологий рабочих сред.

Сравнительный анализ полученных результатов и результатов, приведенных в работах [1, 2, 4], подтверждает правомерность выдвинутых предположений и гипотез при выборе рационального профиля оправки и технологии ее производства.

Использование оправок рациональной калибровки в условиях прошивного прессы трубопрессовой установки, при прочих равных условиях, обеспечивает увеличение скорости прошивки на 10 – 17% и срока службы оправок на 20 – 25% путем обеспечения благоприятных режимов обтекания потоком металла при прошивке сплошных цилиндрических заготовок в полые гильзы. Улучшение условий обтекания рабочей поверхности оправки потоком прошиваемого металла приводит к сохранению сплошности технологического покрытия на поверхности оправки. Это позволяет, как следствие, исключить налипание металла на оправку и ухудшение качества поверхности производимых труб. За счет оптимизации формы рабочей поверхности оправки достигается снижение усилия прошивки на 11 – 12% и в целом стабилизация энергосиловых параметров очага деформации при прошивке.

Реализация устойчивых технологических процессов прошивки позволяет путем снижения усилия на оправку значительно повысить динамическую устойчивость стержневой механизма ее удержания, что приводит к снижению разностенности гильз (труб) на 7 – 12%.

Калибровка оправок с рациональной формой рабочей поверхности, путем развития базовых теоретических положений, намечает направления интенсификации технологических процессов прошивки, повышения долговечности технологического инструмента, качества прошиваемых гильз и снижения себестоимости их производства.

Выводы

1. Установлено, что задача по определению оптимальной формы образующей технологического инструмента реализуема в пределах выбранного класса допустимых функционала осевого сопротивления и функций образующей, удовлетворяющих условиям прошивки трубной заготовки.

2. Решена многофакторная вариационная задача по калибровке (проектированию) образующей оправки минимального осевого сопротивления, проникающей с постоянной скоростью в осесимметричную трубную заготовку, размещенную в ограниченном объеме очага деформации прошивного пресса.

3. Выявлено, что реализация устойчивого технологического процесса прошивки сплошных цилиндрических заготовок в гильзы возможна лишь при определенных рациональных конфигурациях образующих оправок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данченко В.Н. Технология трубного производства. Учебник для вузов. /В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев // . – М.: Интермет - Инжиниринг, 2002. – 640 с.
2. Гуляев Ю.Г. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. / Ю.Г.Гуляев, С.А. Чукмасов, А.В. Губинский // – Киев.: Наукова думка, 1986. – 240 с.
3. Гун Г. Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
4. Коликов А.П. Новые процессы деформации металлов и сплавов./ А.П. Коликов, П.И. Полухин, А.В. Крупин//–М.:Высшая школа,1986.–351 с.
5. Гендуков В.М. Тело вращения минимального сопротивления в упругопластических и пластических сжимаемых средах.– В кн. «Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред», Ереван. Изд-во АН Армянской ССР, 1984. С.116 – 121
6. Сагомоян А.Я. Проникание. – М.: МГУ, 1956. – 300 с.
7. Цлаф Л.Я. Вариационное исчисление и интегральные уравнения – М.: Наука, 1974. – 479 с.

Получено 28.12.2010г.

А.П. Иванова, Н.В. Каряченко

К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ КРИВОШИПНО - ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПРИВОДА КЛЕТИ СТАНОВ ХПТ ПО УГЛУ ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. В статье выведен ряд зависимостей между линейными и угловыми параметрами кривошипно-шатунного механизма привода клетки станков ХПТ. Приведена методика решения задач проектирования таких механизмов с помощью полученных формул. Рассмотрен пример решения.

Актуальность проблемы. Одним из основных механизмов целого ряда машин металлургического производства является кривошипно – шатунный механизм. Сравнительная простота этого механизма, а также большой опыт в проектировании и эксплуатации, по сравнению с другими шарнирно – рычажными механизмами обеспечили ему широкое применение. Рост производства кованных, штампованных изделий, а также металлопроката, требует как совершенствования технологии производства, так и создания соответствующего оборудования или его усовершенствования [1].

В станках ХПТ привод рабочей клетки осуществляется кривошипно-шатунным механизмом (рис. 1).

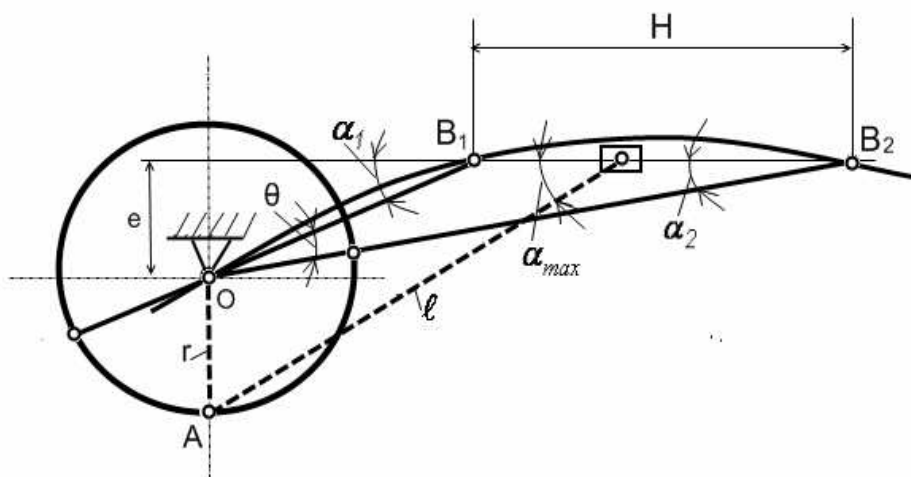


Рисунок 1 – Кинематическая схема кривошипно - шатунного привода клетки станков ХПТ

© Иванова А.П., Каряченко Н.В., 2011

В этом механизме r , l , h , и e - длина кривошипа, шатуна, хода клетки и дезаксиала соответственно; штрихованными линиями показано положение механизма, в котором угол давления имеет максимальное значение $\alpha_{\max}$ (ОА перпендикулярен В1 В2); точки В1 и В2 определяют крайние положения клетки; θ - угол, равный половине разности между углами поворота кривошипа при прямом и обратном ходах клетки.

Постановка задачи. Получить основные зависимости для определения основных параметров кривошипно – шатунного привода рабочих клетим станов ХПТ в зависимости от угла давления.

Методика исследования. Считая H , e и θ заданными, получим выражения для определения r , l и $\alpha_{\max}$. Из $\triangle OB_1B_2$ (для $e \geq 0$,

$0 \leq \alpha_1 \leq 90^\circ$) $\alpha_1 = e + \alpha_2$, по теореме синусов $OB_1 = \frac{H}{\sin \theta} \cdot \sin \alpha_2$. Тогда

$$e = OB_1 \cdot \sin \alpha_1 = \frac{H}{\sin \theta} \cdot \sin(\alpha_1 - \theta) \cdot \sin \alpha_1 = \frac{H}{2 \sin \theta} \cdot [\cos \theta - \cos(2\alpha_1 - \theta)], \text{ от-}$$

куда и аналогично $\alpha_2 = \frac{1}{2} [\arccos(\cos \theta - 2z) - \theta]$, где $z = \frac{\theta}{H} \sin \theta$.

Из $\triangle B_1OB_2$ определяем OB_1 и OB_2 , а затем r , l и $\alpha_{\max}$

$$r = \frac{H}{\sin \theta} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \sqrt{\cos^2 \frac{\theta}{2} - z} = \frac{H}{2} \sqrt{1 - \gamma \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}, \quad (1)$$

$$l = \frac{H}{\sin \theta} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \sqrt{\sin^2 \frac{\theta}{2} + z} = \frac{H}{2} \sqrt{1 + \gamma \cdot \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}}. \quad (2)$$

$$\alpha_{\max} = \arcsin \left(\frac{Z + \sin \frac{\theta}{2} \sqrt{\cos^2 \frac{\theta}{2} - z}}{\cos \frac{\theta}{2} \sqrt{\sin^2 \frac{\theta}{2} + z}} \right), \quad (3)$$

$$\text{или } \alpha_{\max} = \arcsin \left(\frac{\gamma + \sqrt{1 - \gamma \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}}{\sqrt{1 + \gamma \cdot \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}}} \right). \quad (4)$$

В формулах (1), (2), (4) $\gamma = \frac{2l}{H}$. Параметры e и θ , входящие в правые части формул, по существу являются координатами, определяющими положение центра вращения кривошипа относительно заданного хода клетки. Приведем выражение $\alpha_{\max}$, когда положение цен-

откуда

Заменим переменные e в формуле (4) на переменные x и y , выразив через $tg \frac{\theta}{2}$ через $ctg \frac{\theta}{2}$ из формулы (6). После преобразования получим

где $q = x^2 + y^2 - \frac{H^2}{4}$.

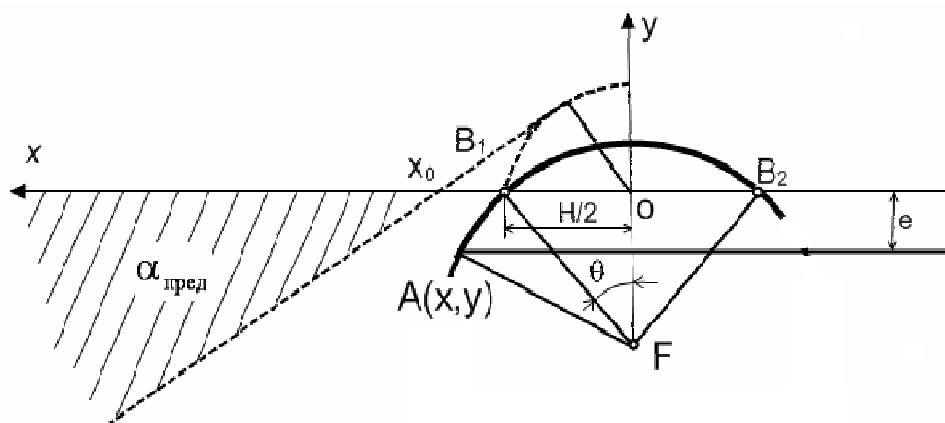


Рисунок 2 – Определение координат, определяющих положение центра вращения кривошипа относительно заданного хода клетки

Формула (7) позволяет раскрывать неопределенность формул (2) - (4) при $e = 0$ и $\theta = 0$, то есть для механизмов, у которых центр вращения кривошипа лежит на направляющей движения клетки; формула (7) при подстановке координат точек направляющей в новой системе $\frac{H}{2} \leq x \leq \infty, \quad y = 0$ принимает достаточно простой вид

$\alpha_{max} = \arcsin\left(\frac{H}{2x}\right)$. Используя формулы (5), (1) и (2) определим:

$$r = \frac{H}{2}, l = x.$$

Зависимости (1) - (4) и (7) справедливы для любых кривошипно-шатунных механизмов и позволяют разработать методику решения ряда задач проектирования таких механизмов. Например по длине хода клетки H и углу θ можно спроектировать кривошипно-шатунный механизм, у которого максимальное значение угла давления будет иметь наименьшую величину. Если угол θ не задан, то его можно определить по коэффициенту изменения скорости хода клетки K по известному выражению $\theta = \frac{\pi \cdot (K - 1)}{(K + 1)}$ [2].

Центр вращения кривошипа O (рис. 2), должен лежать на окружности, проходящей через точки $B1$ и $B2$ и быть таковым, что центральный угол дуги $B1B2$ равнялся бы 2θ [2, 3].

В функциональной зависимости

$$\sin \alpha_{max} = \frac{z + \sin \frac{\theta}{2} \sqrt{\cos^2 \frac{\theta}{2} - z}}{\cos \frac{\theta}{2} \sqrt{\sin^2 \frac{\theta}{2} + z}}, \quad (8)$$

где z является аргументом, θ - заданным параметром. Обычный метод определения точек экстремума [4] функции $\alpha_{max} = \alpha_{max}(z)$ приводит к уравнению

$$z^3 + \left(4\sin^2 \frac{\theta}{2} - \cos^2 \frac{\theta}{2}\right) \cdot z^2 + \left(4\sin^4 \frac{\theta}{2} - 4\sin^2 \frac{\theta}{2} \cdot \cos^2 \frac{\theta}{2}\right) \cdot z + \sin^2 \frac{\theta}{2} - 4\sin^4 \frac{\theta}{2} \cdot \cos^2 \frac{\theta}{2} = 0.$$

Графическое исследование кривошипно-шатунного механизма привода клетки позволило установить, что одним из корней этого уравнения будет $z = \cos \theta$ (при то есть функция принимает наибольшее значение $z = \cos \theta$ $\alpha_{max} = 90^\circ$). Разделив это уравнение на $\left[z - \left(\cos^2 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2}\right)\right]$ (обоснование делимости в [7]), получим

$$z^2 + 3 \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2} \cdot z - \sin^4 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos^2 \frac{\theta}{2} = 0,$$

откуда

$$z = \frac{1}{2} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \left(-3 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \pm \sqrt{4 + \sin^2 \frac{\theta}{2}} \right).$$

Учитывая, что $z \geq 0$, заключаем: при заданных H и θ максимальное значение угла давления есть функция дезаксиала; минимальная величина максимального значения угла давления $\min \alpha_{max}$ будет получена при значении дезаксиала определяемом по выражению

$$e = \frac{z \cdot H}{\sin \theta} = \frac{H}{4} \left(\sqrt{4 + 5tg^2 \frac{\theta}{2}} - 3tg \frac{\theta}{2} \right). \quad (9)$$

При этом значении дезаксиала, по формулам (1), (2), (8), получим:

$$r = \frac{H}{4} \left(\sqrt{4 + 5tg^2 \frac{\theta}{2}} - 3tg \frac{\theta}{2} \right), \quad (10)$$

$$l = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{4ctg^2 \frac{\theta}{2} + 5} - 1 \right)}. \quad (11)$$

$$\min \alpha_{min} = \arcsin \left[\frac{\sqrt{4ctg^2 \frac{\theta}{2} + 5} - 2}{ctg \frac{\theta}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{4ctg^2 \frac{\theta}{2} + 5} - 1 \right)}} \right]. \quad (12)$$

Таким образом, поставленная задача может быть решена аналитически с любой степенью точности. Функция $\min \alpha_{max}$ как функция аргумента θ в интервале $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ есть функция непрерывная, монотонно возрастающая (сплошная кривая на рисунке 3). Штрихпунктирной линией на этом рисунке приведен график зависимости

$$\lambda(\theta) = \frac{l(\theta, H)}{r(\theta, H)}, \quad (13)$$

где r и l определены по формулам (10) и (11).

Одновременное задание θ и $\alpha_{пред.}$, как параметров кривошипно-шатунного механизма не всегда допустимо по формуле (12), так как

значение $\min \alpha_{\max} = \alpha_{\text{пред.}}$ решение будет и при том единственное; если $\min \alpha_{\max} \leq \alpha_{\text{пред.}}$ будет два решения; при $\min \alpha_{\max} \geq \alpha_{\text{пред.}}$ решение не может быть найдено. Это станет очевидным, если указать в плоскости проектирования кривошипно - шатунного механизма область, любая из точек которой может быть принята за центр вращения кривошипа и при этом максимальное значение угла давления спроектированного механизма не превысит заданного значения $\alpha_{\text{пред.}}$.

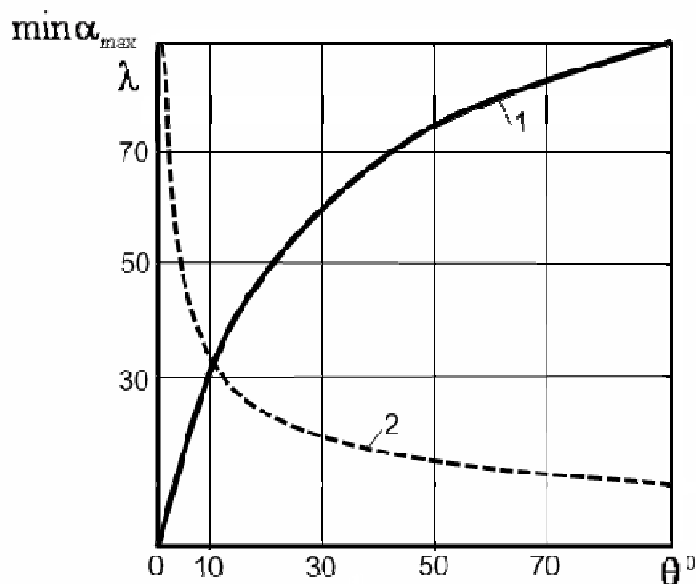


Рисунок 3 - Графики изменения функций:

кривая 1 - $\alpha_{\max} = f(\theta)$ и кривая 2 - $\lambda = f(\theta)$

Такой областью, как показывают численные исследования зависимости (7), является часть плоскости, заключенная внутри угла с

вершиной в точке $x = \frac{H}{2 \cdot \sin \alpha_{\text{пред.}}}$; одна из сторон угла направлена по

оси x в положительном направлении, вторая образует с этой осью угол $\alpha_{\text{пред.}}$.

Если поместить центр вращения кривошипа в любую точку этой второй стороны угла, то максимальный угол давления проектируемого механизма будет равен с очень небольшим отклонением $\alpha_{\text{пред.}}$.

Легко видеть, что вторая сторона угла может касаться окружности

радиуса $FB_1 = \frac{H}{2 \cdot \sin \theta}$ с центром в точке F, пересекать или проходить

вне её (рис.2) и, следовательно, будет иметь место один из трех перечисленных ранее случаев.

Закключение. Возможность определить по заданным H и $\alpha_{пред.}$ область, точки которой могут быть приняты за центр вращения кривошипа, позволяет решить ряд задач проектирования кривошипно - шатунных механизмов с учетом габаритов.

Определение l , r и $\alpha_{max.}$ по формулам (1), (2) и (4) для стана ХПТ 32 - 2 и их сравнение с размерами, приведенными в характеристике станов [6] составило $\Delta r = 0,3 \%$, $\Delta l = 0,16 \%$ и $\alpha_{max.} = 0\%$.

Приведенная методика синтеза кривошипно - шатунных механизмов может быть применена и в других машинах металлургического производства, например, ножницах для холодной и горячей резки металла, подъемно-качающихся столах, кантователях, лебедках маневрирования конусами доменных печей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штыцко П.И., Иванова А.П. Совершенствование приводного механизма рабочей клетки станов ХПТ \\\ Системні технології: Регіональний міжвуз. зб. наук. праць. – Д.: НметАУ. – 2008. - №5 (38). – С. 50 – 55.
2. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. М.: Машиностроение, 1967 - 583 с.
3. Озол.О.Г. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1984 - 432 с.
4. Курант Р. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.1. М.: Наука, 1967 - 704 с.
5. Корн Г., Корн Т. - Справочник по математике. - М: Наука, 1973 - 832 с.
6. Гребенник В.М., Шведченко А.А., Цапко В.К. Механическое оборудование трубных цехов. Днепропетровское областное управление по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 1974 - 202 с.

Получено 28.12.2010г.

ІНВАРІАНТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬОРОВИХ RGB-ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. У роботі запропоновано новий підхід до визначення інваріантних до геометричних та фотометричних перетворень інформаційних характеристик кольорових зображень. Це дозволило підвищити точність автоматизованої ідентифікації цифрових кольорових зображень.

Ключові слова: кольорове зображення, інваріант, моменти зображення, семіінваріант.

Постановка проблеми

При вирішенні задач зіставлення зображень та їх елементів, ідентифікації об'єктів на зображенні, визначення параметрів викривлення зображення широко використовується знаходження інваріантних до комплексу умов фіксації і відповідних перетворень характеристик зображень. Наприклад, для використання у фотограмметрії дешифрувальні ознаки повинні бути інваріантними, принаймні, до впливу таких факторів, як освітленість об'єкта, вплив атмосфери, а також до геометричних (у загальному випадку проєктивних) перетворень. Найбільш ефективною формою математичної моделі ідентифікації зображень є подання відеоінформації множиною числових параметрів — інформаційних характеристик. Таким чином реалізується модель у багатовимірному просторі, де зображення трактуються як точки цього простору. У багатьох задачах обробки цифрових зображень знайшли широке використання моментні інваріанти, що розраховуються на основі моментних характеристик зображень. Основним достоїнством моментних інваріантів є нечутливість до поворотів зображення, що робить їх використання найбільш ефективним у якості ознак в задачі розпізнавання на зображенні об'єктів невідомої орієнтації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботах [1, 2] були досліджені інваріантні характеристики кольорових зображень, поданих у форматі RGB, на основі моментних

характеристик зображень. Кольорове зображення математично описується вектором інваріантних моментів для геометричних і фотометричних перетворень таким чином: нехай $R(x,y)$, $G(x,y)$ і $B(x,y)$ означають RGB-значення пікселя в позиції (x,y) на зображенні. Узагальнені моменти кольору для інваріантної області Ω :

$$M_{pq}^{abc} = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y x^p y^q [R(x,y)]^a [G(x,y)]^b [B(x,y)]^c. \quad (1)$$

M_{pq}^{abc} називають момент (узагальнений колір) порядку $p+q$ і в ступені $a+b+c$. Зміни в зображеннях стереопари, що були отримані з різних точок зору, моделюються афінним перетворенням зображення і фотометричними змінами, які були викликані різницею в освітленні, і представляють собою афінні перетворення інтенсивності у кожній кольоровій групі. Геометричні викривлення моделюються афінним перетворенням:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де a_{11} , a_{12} , a_{21} , a_{22} – параметри масштабування, b_1 , b_2 – параметри зсуву зображення.

Зміни в освітленості зображень моделюються фотометричним перетворенням для кожної з кольорових груп R, G, B:

$$i'_K(x,y) = s_K i_K(x,y) + u_K, \quad (3)$$

де $K \in \{R, G, B\}$. s_K – параметри змінення яскравості випромінювання кожного з кольорових каналів, u_K – параметри «шуму» кожного з каналів. Ефект, що комбінує ці геометричні і фотометричні перетворення по моментам M_{pq}^{abc} отримаємо наступним чином:

$$M_{pq}^{abc} = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y [a_{11}x + a_{12}y + b_1]^p [a_{21}x + a_{22}y + b_2]^q [s_R R(x,y) + u_R]^a [s_B B(x,y) + u_B]^b [s_G G(x,y) + u_G]^c abs(|A|) \quad (4)$$

що після розкриття дужок, дає лінійну комбінацію моментів порядку $\leq(p+q)$ і ступеня $\leq(a+b+c)$. Знаходження інваріантних характеристик кольорового шаблону інваріантної області Ω зводиться до знаходження функцій цих узагальнених кольорових моментів, що є інваріантними перетворенням. Результуючі моментні інваріантні характеристики є комбінацією кольорових моментів M_{00}^{abc} , M_{01}^{abc} , M_{10}^{abc} , де

$(a,b,c) \in \{(0,0,0), (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (2,0,0), (0,2,0), (0,0,2), (1,1,0), (1,0,1), (0,1,1)\}$.

Після афінного та фотометричного перетворення для всіх a,b,c :

$$\begin{pmatrix} (M_{10}^{abc})' \\ (M_{01}^{abc})' \\ (M_{00}^{abc})' \end{pmatrix} = s_R^a s_B^b s_B^c |A| \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_{10}^{abc} \\ M_{01}^{abc} \\ M_{00}^{abc} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Об'єднані геометричні і фотометричні інваріантні характеристики зображень до першого порядку і другого ступеню включно є комбінацією кольорових моментів [1].

Незважаючи на ряд достоїнств системи IX на основі моментів, їхнє практичне застосування має низку принципових обмежень, які пов'язані з відсутністю взаємної однозначності відображення (ізоморфізму) множини геометричних форм зображень на простір IX. Унаслідок цього, відновлення вихідного зображення (вихідної функції яскравості) по наявному набору моментів (навіть як завгодно великого обсягу), являє собою практично нерозв'язну проблему.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ці обставини ставлять задачу знаходження нових об'єднаних афінно- і фотометрично-інваріантних кольорових багатовидів подання проєкційних зображень з метою оптимізації алгоритмів їхнього аналізу, що дозволить відновляти зображення із заданою точністю за скінченною множиною обчислених інформаційних характеристик.

Основна частина

У роботах [3, 4] були розвинені математичні моделі форм цифрових зображень. У відповідності з цими моделями множина розподілів функцій яскравості (ФЯ) таких зображень подається точками багатовидів у просторі IX — безрозмірних семіінваріантів S_{nm} порядку N від ФЯ:

$$S_{nm} = \frac{1}{j^N} \frac{\partial^N}{\partial u_1^n \partial u_2^m} \ln F(\mathbf{u}) \Big|_{\mathbf{u}=\mathbf{0}}, \quad (6)$$

де $j = \sqrt{-1}$ — уявна одиниця; $F(\mathbf{u})$ — інтегральне перетворення Фур'є ФЯ зображення з вектором параметрів $\mathbf{u} = (u_1, u_2)$, $N = n + m$.

Внаслідок дискретизованого подання відеоінформації визначення семіінваріантів безпосередньо за виразом (6) принципово не-

можливе, тому для кольорових моментів цифрового зображення до першого порядку і другого ступеню включно безрозмірні семіінваріанти обчислюються наступним чином:

$$\begin{aligned} S_{00}^{abc} &= \ln(M_{00}^{abc}), \\ S_{01}^{abc} &= \frac{M_{01}^{abc}}{M_{00}^{abc}}, \\ S_{10}^{abc} &= \frac{M_{10}^{abc}}{M_{00}^{abc}}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $(a,b,c) \in \{(0,0,0), (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (2,0,0), (0,2,0), (0,0,2), (1,1,0), (1,0,1), (0,1,1)\}$. Інваріантність геометричної моделі зображень фіксованого об'єкта до позиційних умов їхньої фіксації включає, серед іншого, незалежність від метричних характеристик зображень [5]. Тому за IX прийнято безрозмірні комбінації:

$$X_{nm}^{abc} = S_{nm}^{abc} \exp\left(-\frac{NS_{00}^{abc}}{2}\right). \quad (8)$$

Стосовно задач, пов'язаних із розпізнаванням геометричних форм проекційних зображень, багатовид, інваріантний відносно афінної групи перетворень у площині зображення реалізується у вигляді квадрики. Але квадриками не вичерпуються багатовиди, інваріантні до геометричних перетворень зображень загальною афінною групою. В даній роботі пропонуються нові багатовиди, які реалізуються безрозмірними комбінаціями до першого порядку і другого ступеню включно, які є інваріантними водночас до афінних і до фотометричних перетворень. Обмеження порядку X_{nm}^{abc} до першого $((n+m)=0$ або 1) обмежує збільшення простору моделі, тобто не потребує обчислення семіінваріантів більш високих порядків. Для кожного з трьох кольорових каналів окремо знайдено геометричні і фотометричні інваріанти на основі безрозмірних комбінацій X_{nm}^{abc} узагальнених кольорових семіінваріантів до першого порядку і другого ступеня включно:

0-й порядок, 2-а ступінь:

$$B_{02} = \frac{X_{00}^2 X_{00}^0}{(X_{00}^1)^2}; \quad (9)$$

1-й порядок, 2-а ступінь:

$$B_{12} = \frac{X_{10}^1 X_{01}^2 X_{00}^0 + X_{10}^2 X_{01}^0 X_{00}^1 + X_{10}^0 X_{01}^1 X_{00}^2 - X_{10}^0 X_{01}^2 X_{00}^1 - X_{10}^1 X_{01}^0 X_{00}^2 - X_{10}^2 X_{01}^1 X_{00}^0}{X_{00}^2 X_{00}^1 X_{00}^0}, \quad (10)$$

де X_{nm}^i дорівнює кожному з X_{nm}^{i00} , X_{nm}^{0i0} або X_{nm}^{00i} .

Знайдено 10 інваріантних характеристик зображення для будь-яких 2-х з 3-х кольорових каналів на основі безрозмірних комбінацій X_{nm}^{abc} узагальнених кольорових семіінваріантів до першого порядку і другого ступеня включно:

0-й порядок, 2-а ступінь: B_{02}^1 , B_{02}^2 і

$$C_{02} = \frac{X_{00}^{11} X_{00}^{00}}{X_{00}^{10} X_{00}^{01}} \quad (11)$$

1-й порядок, 1-а ступінь:

$$B_{12} = \frac{X_{10}^{10} X_{01}^{01} X_{00}^{00} + X_{10}^{01} X_{01}^{00} X_{00}^{10} + X_{10}^{00} X_{01}^{10} X_{00}^{01} - X_{10}^{00} X_{01}^{01} X_{00}^{10} - X_{10}^{10} X_{01}^{00} X_{00}^{01} - X_{10}^{01} X_{01}^{10} X_{00}^{00}}{X_{00}^{10} X_{00}^{01} X_{00}^{00}} \quad (12)$$

1-й порядок, 2-а ступінь: B_{12}^1 , B_{12}^2 ,

$$C_{12}^1 = \frac{X_{10}^{10} X_{01}^{11} X_{00}^{00} + X_{10}^{11} X_{01}^{00} X_{00}^{10} + X_{10}^{00} X_{01}^{10} X_{00}^{11} - X_{10}^{00} X_{01}^{11} X_{00}^{10} - X_{10}^{10} X_{01}^{00} X_{00}^{11} - X_{10}^{11} X_{01}^{10} X_{00}^{00}}{X_{00}^{11} X_{00}^{10} X_{00}^{00}} \quad (13)$$

$$C_{12}^2 = \frac{X_{10}^{01} X_{01}^{11} X_{00}^{00} + X_{10}^{11} X_{01}^{00} X_{00}^{01} + X_{10}^{00} X_{01}^{01} X_{00}^{11} - X_{10}^{00} X_{01}^{11} X_{00}^{01} - X_{10}^{01} X_{01}^{00} X_{00}^{11} - X_{10}^{11} X_{01}^{01} X_{00}^{00}}{X_{00}^{11} X_{00}^{01} X_{00}^{00}} \quad (14)$$

$$C_{12}^3 = \frac{X_{10}^{10} X_{01}^{02} X_{00}^{00} + X_{10}^{02} X_{01}^{00} X_{00}^{10} + X_{10}^{00} X_{01}^{10} X_{00}^{02} - X_{10}^{00} X_{01}^{02} X_{00}^{10} - X_{10}^{10} X_{01}^{00} X_{00}^{02} - X_{10}^{02} X_{01}^{10} X_{00}^{00}}{X_{00}^{10} X_{00}^{02} X_{00}^{00}} \quad (15)$$

$$C_{12}^4 = \frac{X_{10}^{20} X_{01}^{01} X_{00}^{00} + X_{10}^{01} X_{01}^{00} X_{00}^{20} + X_{10}^{00} X_{01}^{20} X_{00}^{01} - X_{10}^{00} X_{01}^{01} X_{00}^{20} - X_{10}^{20} X_{01}^{00} X_{00}^{01} - X_{10}^{01} X_{01}^{20} X_{00}^{00}}{X_{00}^{20} X_{00}^{01} X_{00}^{00}} \quad (16)$$

де B_{nm}^i підраховується так же, як інваріант B_{nm} для i -го кольорового каналу (для 2-х з 3-х кольорових каналів), і X_{nm}^{ij} дорівнює кожному з X_{nm}^{ij0} , X_{nm}^{i0j} або X_{nm}^{0ij} , для 2-х обраних кольорових каналів.

Для всіх 3-х кольорових каналів RGB-моделі, знайдено 21 інваріантну характеристику на основі безрозмірних комбінацій X_{nm}^{abc} узагальнених кольорових семіінваріантів до першого порядку і другого ступеня включно:

0-й порядок, 2-а ступінь: B_{02}^R , B_{02}^G , B_{02}^B , C_{02}^{RG} , C_{02}^{RB} , C_{02}^{GB} ;

1-й порядок, 1-а ступінь: C_{11}^{RG} , C_{11}^{RB} , C_{11}^{GB} ;

1-й порядок, 2-а ступінь: B_{12}^R , B_{12}^G , B_{12}^B , $C_{12}^{1(RG)}$, $C_{12}^{1(RB)}$, $C_{12}^{1(GB)}$, $C_{12}^{2(RG)}$, $C_{12}^{2(RB)}$, $C_{12}^{2(GB)}$, $C_{12}^{3(RG)}$, $C_{12}^{3(RB)}$, $C_{12}^{4(RB)}$,

де B_{ij}^K і C_{nm}^{KL} є двоканальними інваріантами, що були визначені у (9)-(16), але застосовуються до кольорових груп K і L . Вочевидь, що

інваріантні характеристики з участю всіх 3-х кольорових груп завжди можна виразити як комбінацію інваріантних характеристик за участю 2-х з 3-х кольорових груп.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На основі математичної моделі форм растрових цифрових зображень – семіінваріантних характеристик і методу використання інтенсивності випромінювання різних кольорових каналів RGB-моделі були знайдені нові інваріантні характеристики кольорових зображень. Знайдені інваріанти є стійкими до афінної групи геометричних перетворень і, водночас, стійкими до лінійних змін значень інтенсивності випромінювання кожного з кольорових RGB-каналів. Таким чином досягається інваріантність відносно розташування точки огляду і відносно освітленості сцени. Інваріантні характеристики основані на моментних характеристиках зображень до першого порядку, що не потребує обчислення моментів більш високих порядків. Це робить знайдені інваріантні характеристики універсальним інструментом для широкого кола додатків. Для дистанційного зондування метод надає потрібний засіб для ідентифікації аерокосмічних і супутникових зображень; в області фотограмметрії метод виявляється корисним для пошуку багатовидових відношень. Наші подальші дослідження будуть присвячені питанням знаходження нових інваріантних характеристик кольорових сканерних зображень, пов'язаних афінними і фотометричними перетвореннями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mindru F. Color-based moment invariants for viewpoint and illumination independent recognition of planar color patterns / F. Mindru, T. Moons, L. Gool // Katholieke Universitet Leuven, ESAT/PSI, Leuven (Belgium) CVPR 2007: 134-143.
2. Mindru F. Invariant color features for matching and target recognition / F. Mindru, T. Tuytelaars // Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III). Baltsavias et al. (eds.), 2001.
3. Гнатушенко В.В. Математична модель ідентифікації цифрових зображень / В. В. Гнатушенко, Н.Ю. Калініна // Прикладна геометрія та інженерна графіка. - К.: КНУБА, 2010. - Вип. 86. - С. 94-98.
4. Гнатушенко В. В. Інваріантні системи ознак в задачах розпізнавання фотограмметричних зображень / В.В. Гнатушенко // Вісник ХДТУ. – Херсон: ХДТУ, 2003. - № 3 (19). – С. 90-93.
5. Калініна Н. Ю. Математична інваріантна модель ідентифікації кольорових зображень / Н. Ю. Калініна, В. В. Гнатушенко // Тези доповідей восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2010)» –Дніпропетровськ: ДНУ, 2010. – С. 91-92.

Получено 10.01.2010 г.

Д.І. Соловйов

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНОЇ ВОДЯНОЇ ЗАВІСИ В ГІРНИЧІЙ ВИРОБЦІ

Аннотация. Предложена математическая модель высокодисперсной водяной завесы непроницаемой для запыленного воздуха в горной выработке. Уравнение движения и тепломассообмена капель с воздухом решено численно. Определены термодинамические параметры воздуха, зона орошения и осаждения на подошву выработки капель.

Вугільний та породний пил до 10 мкм в вентиляційному повітрі гірничої виробки небезпечний для здоров'я людини, а пил який осів на стінки є вибухонебезпечним [1]. Тому знепилення вентиляційного повітря залишається актуальним для вугільних шахт.

Відповідно [2] з метою знепилення повітряних потоків повинні застосовуватися водяні та водоповітряні завіси з витратою води 0,1 та 0,05 л/м³ з тиском 0,5 і 0,3 ÷ 0,4 МПа відповідно. Водоповітряні (туманоутворюючі) завіси знепилюють повітря з 200 мг/м³ і більше до ГДК на відстані 150 ÷ 200 м від джерела пилоутворення [3]. Туманоутворювач ОП – 1 з витратою води 10 л/хв і стисненого повітря 0,4 м³/хв рекомендуються по одному на 100 м³/хв повітря при загальній витраті не більше 300 м³/хв, а ТЗ – 1 з витратою води 5 л/хв і стисненого повітря 1,6 ÷ 1,8 м³/хв на кожні 500 м³/хв.

Недоліком водоповітряних завіс є необхідність використання для їх створення стисненого повітря. Тому, не зважаючи на те що вони забезпечують знепилення до ГДК в шахтах вони застосовуються мало.

Розпилювачі водяних і водоповітряних завіс

Для утворювання водяних завіс в [1], [4] рекомендовані зонтичні форсунки ЗФ 1.0 - 75 і ЗФ 3.3 - 75 та плоскоструменеві ПФ 2.2 - 125 з тиском води не менше 1 МПа. Медіанний діаметр краплини зонтичних форсунок 210 і 260 мкм при куту факелу 80 і 85°, а плоскоструменевих (кут 125°) 215 мкм. Відповідно [1] пил уловлюється

краплинами води що рухаються зі швидкістю $30 \div 40$ м/с на виході з форсунки.

Водоповітряні завіси утворюються пневмомеханічними форсунками 2ВВК 2/15 [5] з витратою води $2 \div 3$ л/хв при тиску не менше 0,2 МПа з розрахунку одна форсунка на 2 м^2 площі перерізу виробки. При тиску 0,3 МПа середній діаметр крапель 81 мкм, середній об'ємний діаметр 123 мкм, при тиску 0,5 МПа відповідно 36 і 54 мкм. Покращення дисперсності забезпечило знепилення повітря до ГДК.

Відцентровий розпилювач Ф 0.3.1.0 з витратою 1 л/хв при тиску 0,3 МПа випробуваний з позитивними результатами при змочуванні вугілля і пилоподавленні в пунктах перевантаження стрічкового конвеєра [6] і створенні водяної завіси в гірничій виробці [7].

На рис.1 показаний розподіл кількості краплин за розмірами. Середній діаметр краплин 81,6 мкм, а середній об'ємний діаметр – 105,7 мкм. Дисперсність розпилення порівнювана з пневмомеханічною форсункою, досягнута за рахунок гідродинамічної оптимізації форми і розмірів камери закручування [8].

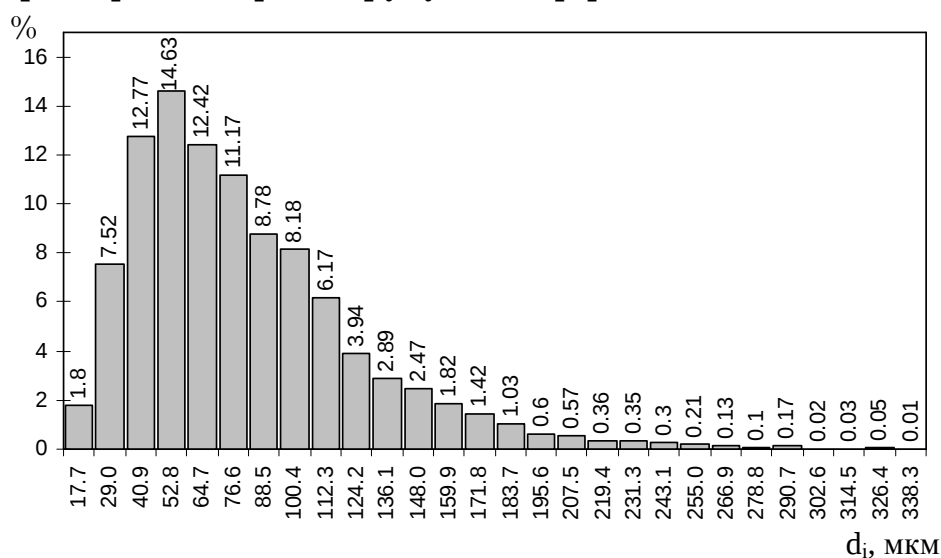


Рис. 1. Розподіл кількості краплин за розмірами

Фізичне уявлення про високодисперсну водяну завісу

Запилене повітря рухається (див. рис. 2) в каналі 1 і проникає в завісу краплин води 2, утворену розпилювачами 3, які встановлені по перерізу каналу. Краплини уловлюють пил і сідають на підшву 4.

Механізм взаємодії краплин і пилу при супутньому русі в потоці повітря не з'ясований, в той час доказана ефективність знепилювання повітря водоповітряною завісою в гірничій виробці. В [7] за-

пропонована схема уловлювання пилинок краплинами, зумовленого поперечним рухом пилинок у вихорах в потоці повітря. При швидкості повітря 2 м/с, число $Re = 5,46 \cdot 10^5$, а швидкість у вихорах (пульсації) на рівні 60 мм/с при розмірах вихорів 1,2 мм.

Метою математичного моделювання є визначення кількості форсунок і їх розміщення, при яких завеса заповнює поперечний переріз виробки і досягається непроникна для пилинок щільність краплин, а також вологість і температура повітря за завісою.

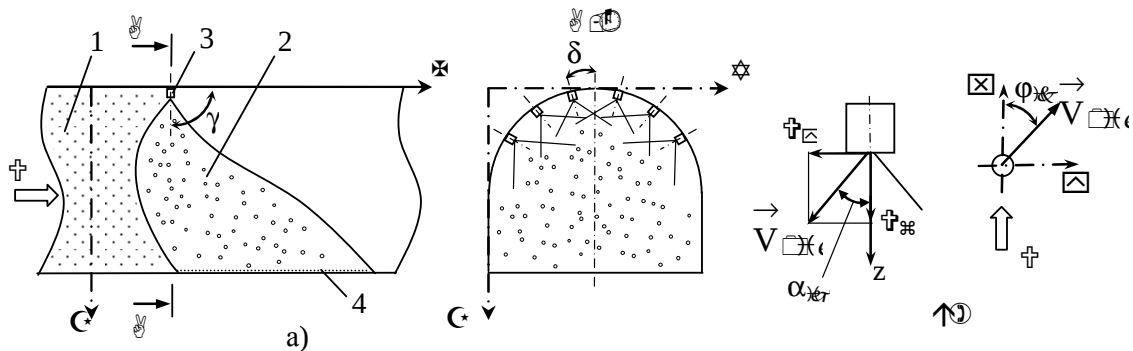


Рис. 2. Водяна завеса в каналі

Рівняння руху і тепломасообміну краплин в завісі

В проекціях на осі координат X, Y, Z система рівнянь руху і тепломасообміну краплин в завісі записана так:

$$\frac{d}{d\tau} V_{xijk} = -\frac{3}{4} \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \frac{\rho_n}{\rho} (V_{xijk} - U_x) \left| \vec{V}_{ijk} - \vec{U} \right|, \quad (1)$$

$$\frac{d}{d\tau} V_{yijk} = -\frac{3}{4} \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \frac{\rho_n}{\rho} (V_{yijk} - U_y) \left| \vec{V}_{ijk} - \vec{U} \right|, \quad (2)$$

$$\frac{d}{d\tau} V_{zijk} = -\frac{3}{4} \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \frac{\rho_n}{\rho} (V_{zijk} - U_z) \left| \vec{V}_{ijk} - \vec{U} \right| + g, \quad (3)$$

$$\frac{dx_{ijk}}{d\tau} = V_{xijk}, \quad (4)$$

$$\frac{dy_{ijk}}{d\tau} = V_{yijk}, \quad (5)$$

$$\frac{dz_{ijk}}{d\tau} = V_{zijk}, \quad (6)$$

$$\frac{d}{d\tau} \theta_{ijk} = -\frac{6}{\rho \cdot c_p \cdot d_{ijk}} \left[\alpha_{ijk} (\theta_{ijk} - T) + \beta_{ijk} (\rho_n^\theta - \rho_{\text{вп}}) L \right], \quad (7)$$

$$\frac{d}{d\tau} d_{ijk} = -2 \frac{\beta_{ijk}}{\rho} (\rho_n^\theta - \rho_{\text{вп}}), \quad (8)$$

вологість та температура повітря в водяній завісі змінюється в напрямку руху повітря внаслідок випаровування краплин і тепломасообміну:

$$\frac{d}{dx} \rho = \sum_{ijk} \frac{f_{\text{пит}_{ijk}}}{U_x} \beta_{ijk} (\rho_n^\theta - \rho_{\text{вп}}), \quad (9)$$

$$\frac{d}{dx} T = \sum_{ijk} \frac{f_{\text{пит}_{ijk}}}{U_x \rho_{\text{сп}} \diamond_{ijk}} \alpha_{ijk} (\theta_{\diamond_{ijk}} - \diamond), \quad (10)$$

де $\diamond_{ijk} = \frac{24}{\text{Re}_{ijk}} + \frac{4}{\sqrt[3]{\text{Re}_{ijk}}}$ - коефіцієнт аеродинамічного опору кулі;

$\text{Re}_{ijk} = \frac{\rho_{\text{п}} d_{ijk} |\vec{V}_{ijk} - \vec{U}|}{\mu_{\text{п}}}$ - число Рейнольдса; $\psi_{ijk} = \exp(0,03 \cdot We_{ijk}^{1,5})$ - динамічний коефіцієнт форми краплини, який враховує її деформацію

під дією аеродинамічних сил; $We_{ijk} = \frac{\rho_{\text{п}} d_{ijk} |\vec{V}_{ijk} - \vec{U}|^2}{\sigma}$ - число Вебера;

$\alpha_{ijk} = \frac{Nu_{ijk}}{d_{ijk}} \lambda_{\text{п}}$ - коефіцієнт тепловіддачі, $Nu_{ijk} = 2 + 0,55 \cdot \text{Re}_{ijk}^{0,5} \text{Pr}^{0,33}$ -

число Нусельта, $\text{Pr} = \frac{\mu_{\text{п}} \diamond_{\text{пп}}}{\lambda_{\text{п}}}$ - число Прандтля; $\beta_{ijk} = \frac{Sh_{ijk} D_{\text{п}}}{d_{ijk}}$ - коефі-

цієнт масовіддачі краплини, $Sh_{ijk} = 2 + 0,55 \cdot \text{Re}_{ijk}^{0,5} Sc^{0,33}$ - число Шервуда,

$Sc = \frac{\mu_{\text{п}}}{D_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}$ - число Шмідта; $\vec{V} \{V_x, V_y, V_z\}$ - швидкість краплин;

$\vec{U} \{U_x, U_y, U_z\}$ - швидкість повітря; θ, T - середньомасова температура краплини і повітря; d - діаметр краплини; $\rho, \rho_{\text{п}}, \rho_n^\theta, \rho_{\text{вп}}$ - густина води, водяної пари у вологому повітрі і насиченої водяної пари коло краплі; $c_p, c_{\text{рп}}$ - питома теплоємність води і повітря; L - теплота пароутворення; $\mu_{\text{п}}, \lambda_{\text{п}}$ - динамічна в'язкість і теплопровідність повітря; σ - поверхневий натяг води; $D_{\text{п}}$ - дифузія водяної пари в повітрі; x ,

у, z координати краплі; $f_{\text{пит}_{ijk}} = \frac{G_{0ijk} \tau_{ijk} 6}{d_{0i}^3 V_{06}} d_{\diamond ijk}^2$; – питома поверхня краплі в об’ємі, G_0 – початкова витрата води, що припадає на об’єм, τ – час, який краплина із діаметром $d_{\diamond}$ перебувала в об’ємі V_{06} , d_{0i} – початковий і – тий діаметр краплини; індекси: і – відповідає середньому діаметру краплини на кожному інтервалі (див. рис. 1), j – куту факелу α під яким починає рухатися краплина, k – меридіональному куту вильоту краплин ϕ .

Початковими умови для інтегрування є параметри повітря: швидкість U , температура $T = T_0$, вологість $\rho = \rho_0$, та параметри краплин: швидкість краплин на виході з розпилювачів V_{0ijk} з проєкціями на осі

$$V_{xijk} = V_{0ijk} \sin \alpha_{ij} \cdot \cos \phi_{ik} \cdot \cos \delta,$$

$$V_{yijk} = V_{0ijk} \sin \alpha_{ij} \cdot \sin \phi_{ik} \cdot \cos \delta,$$

$$V_{zijk} = V_{0ijk} \cos \alpha_{ij} \cdot \sin \delta, \text{ діаметр краплин } d=d_0, \text{ тем-}$$

пература $\theta = \theta_0$ та кількість $G = G_0$ води, координати розташування розпилювачів. Теплофізичні властивості розраховували інтерполяцією даних для води [10] і повітря [11].

Для розрахунку розбиваємо простір виробки сіткою на об’єми V_{06} з кроком Δx , Δy , Δz . На першому етапі за рівняннями 1 ÷ 8 методом Рунге – Кута розраховуються траєкторії та параметри краплин в кожному об’ємі, а на другому за рівняннями 9 ÷ 10 параметри повітря в об’ємах по напрямку його руху, якщо збіжність ітерацій не досягнута розрахунок повторюють.

Кінематика і тепломасообмін високодисперсної водяної завіси

Розрахунки руху і випаровування краплин виконані для завіси з відцентровими розпилювачами Ф 0.3.1.0, які розміщені під склепінням з кутами $\delta = 15, 30$ і 45° . Площа поперечного перерізу виробки $10,94 \text{ м}^2$. Витрати повітря $1312,8 \text{ м}^3/\text{хв}$, води 6 л/хв під тиском $0,3 \text{ МПа}$. Температура повітря перед завісою 30°C , відносна вологість 75% , температура води 25°C . Розподіл кількості краплин по розмірам відповідав рис. 1. Початкова швидкість краплин 12 м/с , повний кут факелу розпилювання 85° .

На рис. 3 показаний розподіл краплин по перерізу виробки на відстані 2 м від форсунок в напрямку руху повітря і сліди краплини

300 мкм, які осідають на підшву виробки. Конічні факели форсунок деформуються потоком повітря, при цьому краплини рухаються шарами: під склепінням краплини до 137 мкм, в середині 180 ÷ 265 мкм і біля підшви 307 ÷ 250 мкм. Проскакування запиленого повітря можливо лише під склепінням, через "вікна" незаповнені краплинами. За рахунок розміщення форсунок в другій і третій завісах "вікна" також заповнюються краплинами.

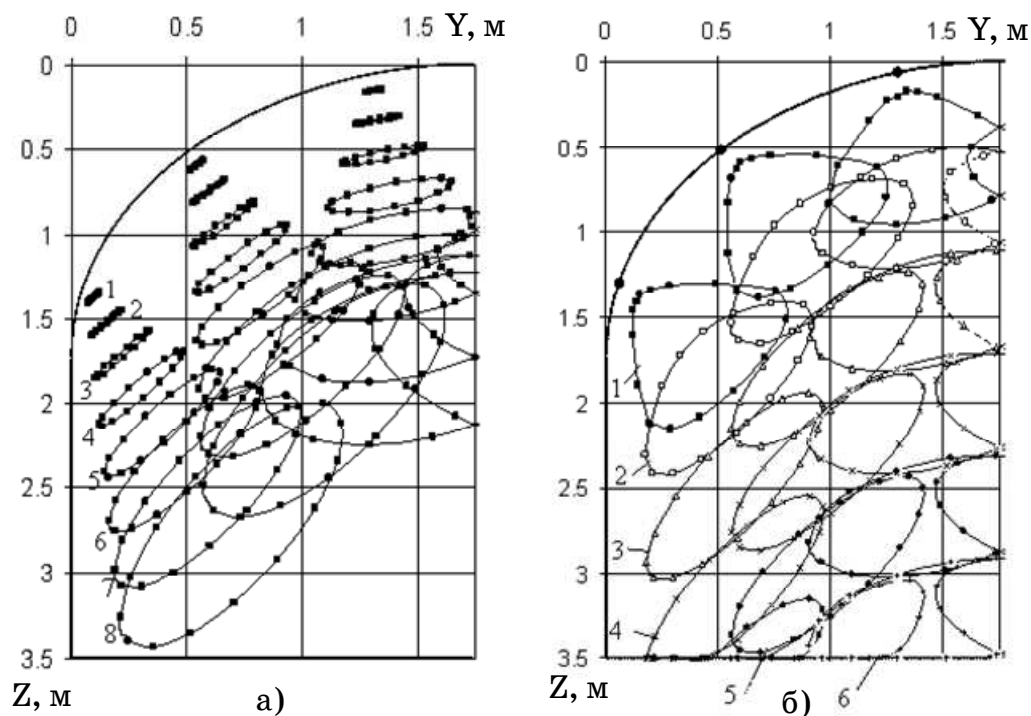


Рис. 3. Розподіл краплин по перерізу виробки:

а) відстань від дуги, діаметр крапель, мкм:

1-52, 2-95, 3-137, 4-180, 5-222, 6-265, 7-306, 8-350;

б) діаметр краплин 300 мкм, відстань від дуги

1-0,6 м, 2-1 м, 3-2 м, 4-3 м, 5-4 м, 6-5 м

На рис. 4 показана температура і втрата маси краплин зумовлені випаровуванням. Краплини нагріваються до $\sim 25^{\circ}\text{C}$, краплини менше 40,9 мкм випаровуються повністю, а втрата маси для краплин менше 195,6 мкм від 100 до 10 %.

Відсоток кількості розпиленої води що знаходиться в повітрі і яка осіла на підшву показана на рис. 5. На відстані 40 м на підшву осідає 69 %, втрати на випаровування складають 28,4 %. В повітрі залишаються 1,97 % води, яка буде осаджена та випариться на відстані понад 40 м.

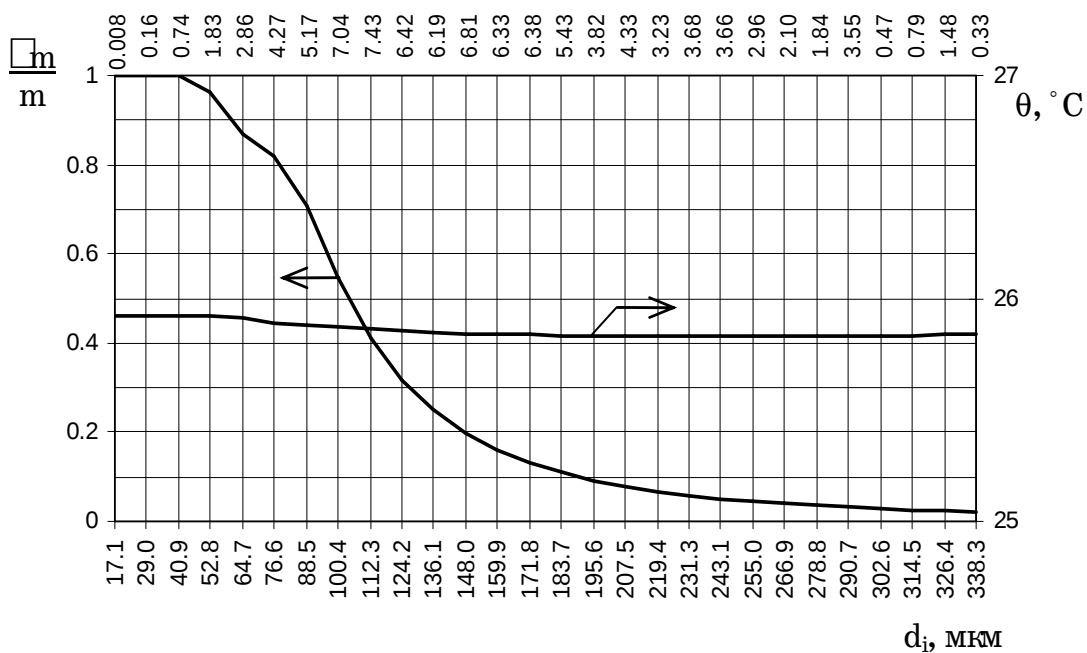


Рис. 4. Втрата маси і температура краплин

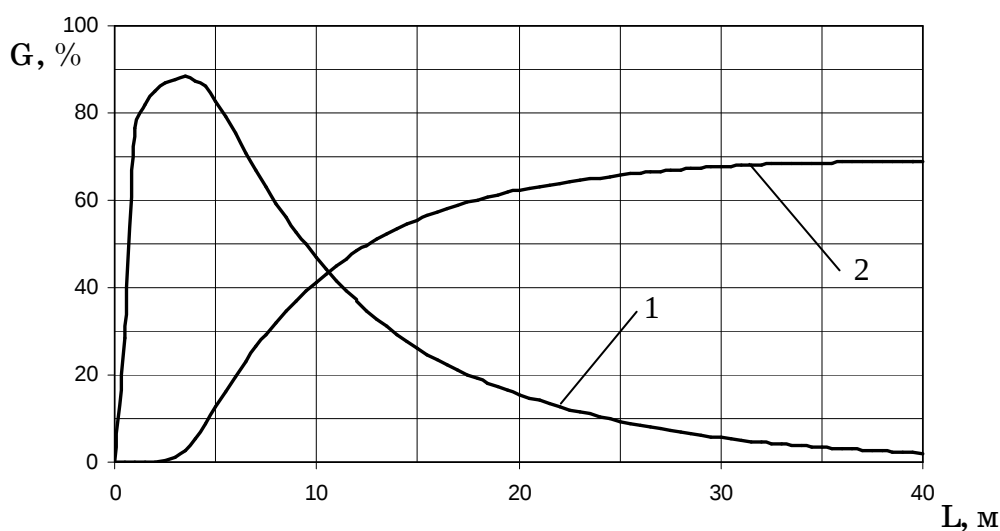


Рис. 5. Маса розпиленої води в повітрі (1) та на підшві виробки

Температура повітря за завісою зменшується до 28 °С, а вологість зростає до 86,5 %. Такі умови відповідають термоіндексу > 17 балів і допустимі для виробок шахт [9].

Виміри запиленості за дослідними зразки блоків високодисперсного зрошування в гірничих виробках шахт «Трудівська» і «Білоріченська» [7] підтверджують адекватність математичної моделі.

Висновки

Математична модель дозволяє розрахувати високодисперсну водяну завісу, яка відповідно з експериментальними даними створену в гірничій виробці відцентровими розпилювачами Ф 0.3.1.0 і є непроникною для пилу. Витрата води в завісі на рівні $0,012 \text{ л/м}^3$ повітря менша $0,05 \text{ л/м}^3$ відповідно норм [2]. Підвищення вологості внаслідок випаровування краплин допустиме для робіт в шахтних виробках [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Борьба с угольной и породной пылью в угольных шахтах/ П. М. Петрухин, Г. С. Гродель, Н. И. Жилиев и др. 2-е изд., перераб. и доп., М., Недра, 1981. - 271 с.
2. Інструкція з комплексного знепилювання повітря: НПАОП 10.0-5.23-04.-К., 2004. - 14 с.
3. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах, изд. 2-ое, М., Недра, 1979. - 319 с.
4. Параметрический ряд унифицированных форсунок для орошения в угольных шахтах. – Макеевка: МакНИИ, 1971.
5. Новые способы борьбы с пылью в угольных шахтах// Ф. М. Гельфанд, В. П. Журавлев, А. П. Голубев, Л. И. Рыжих. – М.: Недра, 1975. - 288 с.
6. Коваль В. П., Соловйов Д. І. Змочування вугілля високодисперсним факелом води// Уголь Украины. – 2007. – № 11. – С. 35 – 37.
7. Коваль В. П., Соловйов Д. І. Знепилювання повітря у гірничій виробці високодисперсною водяною завісою// Уголь Украины. – 2008. – № 10. – С. 38 - 40.
8. Коваль В. П., Мележик О. І. Відцентровий розпилювач// Карантин і захист рослин. – 2005. – № 3. – С. 28-29.
9. Пашковский П. С., Положий В. О., Онасенко А. А. Применение средств индивидуальной противотепловой защиты горнорабочих// Уголь Украины. -2008. – № 10. – С. 34 - 37.
10. Вукалович М.П., Ривкин С.Л., Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Изд-во стандартов, 1969, -408 с.
11. Варгафтик Н.Б., Филипов Л.П., Теплопроводность газов и жидкостей (справочные данные). М.: Изд-во стандартов, 1970. - 352 с.

В.В. Гнатушенко, Д.В. Сущевський

ГЕОМЕТРИЧНА ВЕКТОРНА МОДЕЛЬ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗМІН ОБ'ЄКТІВ ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Анотація. У роботі запропоновано нову геометричну модель візуалізації змін об'єктів штучного походження за фотограмметричними зображеннями. Введено поняття функції взаємної локалізації для формалізації процесу ідентифікації, що дозволяє значно зменшити час автоматизованого виявлення змін об'єктів штучного походження за різночасовими проекційними зображеннями.

Ключові слова: об'єкт штучного походження, проекційне зображення, взаємна локалізація, геометрична модель.

Постановка проблеми

Зростаюча ефективність недорогих супутникових знімків з високим просторовим розрізненням дає можливість отримати знімки споруд в різні моменти часу, а їх відповідна обробка — відстежити усі зміни в забудові в умовах крупного міста з мільйонами будівель. Основна складність усіх алгоритмів попередньої обробки аерокосмічних знімків полягає в трудомісткому процесі порівняння попереднього і нового зображень. В даний час існуючі точні методи визначення змін передбачають участь дешифрувальників фотознімків, пов'язані з великими часовими витратами та характеризуються невисоким рівнем достовірності внаслідок неминучих при ручному дешифруванні помилок. У більшості методів порівнюються два зображення «до і після». Такі методи добре працюють для територіально обмежених або для одноразових дослідницьких проектів, але у виробничих масштабах потрібен автоматизований процес, який ідентифікує тільки зміни, істотні для поставлених цілей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

До теперішнього часу цифровий аналіз різночасових зображень з метою виявлення на них змін здійснювався за допомогою методів, що використовують кольорові та яскравісні характеристики зобра-

жень. Але ці характеристики, на відміну від геометричних, значно змінюються при варіації умов зйомки та можуть трактуватися як зміни земної поверхні [1]. Тому можливості застосування даних методів, особливо за їх автоматизації, обмежені. На практиці такі алгоритми використовуються для обробки вузького класу зображень, обмеженого параметрами зйомки. Аналіз сучасної літератури дозволяє зробити висновок про поступовий перехід від методів прямого порівняння радіометричних даних до порівняння результатів класифікації одержаних різночасових зображень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Існує два основних підходи до ідентифікації змін об'єктів зображення: контурний та просторовий. Основним недоліком існуючих методів є необхідність попиксельного порівняння зображень об'єктів, що призводить до значних витрат обчислювальних ресурсів та зниженню швидкості ідентифікації. Метою даної роботи є розробка нової векторної геометричної моделі різночасових об'єктів, яка надасть можливість подання геометричної інформації про об'єкт через невелику кількість параметрів.

Основна частина

Загальна схема виявлення змін штучних об'єктів земної поверхні за різночасовими фотограмметричними зображеннями зображено на рис. 1. Весь процес умовно можна поділити на 3 етапи:

- 1) попередня обробка та реєстрація вихідних різночасових зображень;
- 2) розпізнавання об'єктів штучного походження на кожному з зображень;
- 3) виявлення змін об'єктів штучного походження та побудова карти змін.

Перші два етапи описано в роботі [2]. Ключовим поняттям для подальшої візуалізації карти часових змін є поняття «*опорного зображення*» (англ. Reference Image). В даній роботі в якості опорного будемо використовувати перше за хронологією зображення. Відповідно до іншого зображення введено поняття «*друге зображення*» (англ. Second Image). Надалі, для ідентифікації об'єктів та параметрів різночасових зображень, застосовуються відповідні нижні індекси «*R*» та «*S*». Розглянемо два основні підходи до ідентифікації змін об'єктів зображення: контурний та просторовий.

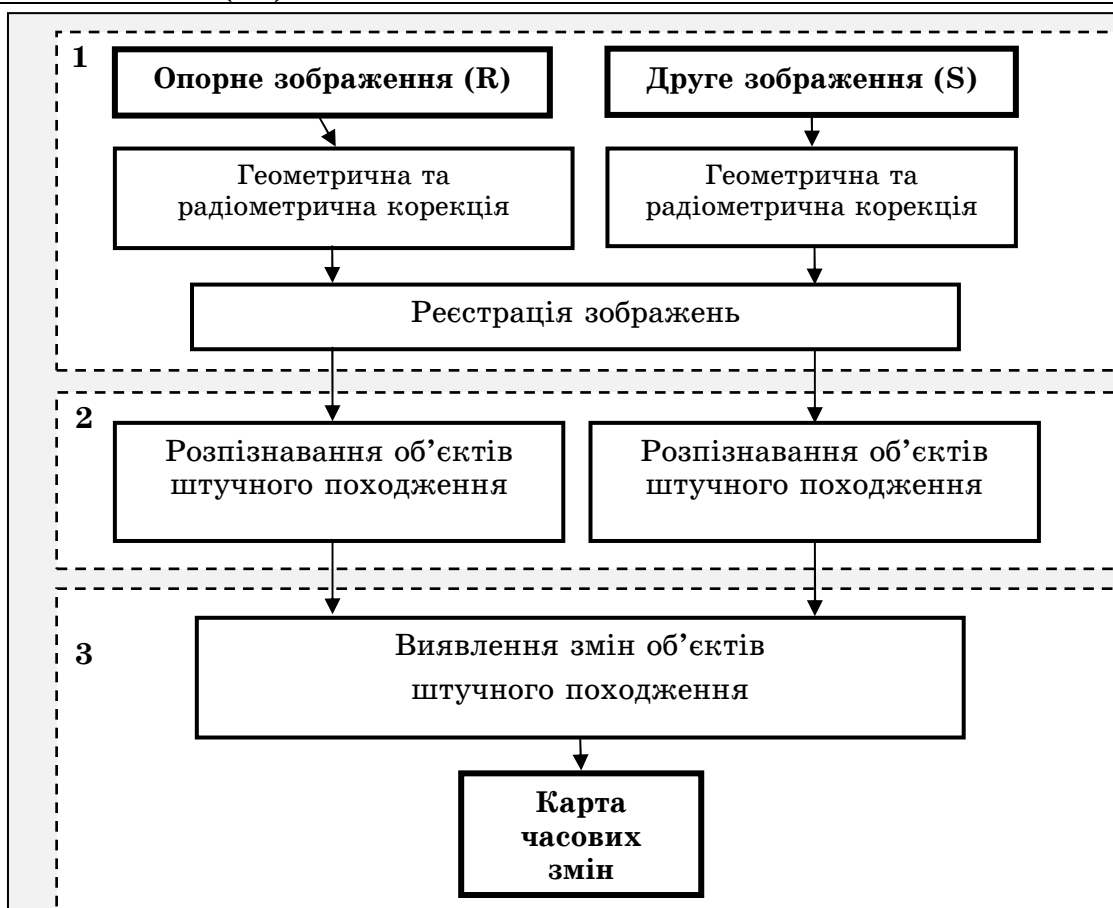


Рисунок 1 - Загальна схема візуалізації часових змін штучних об'єктів земної поверхні

За контурного підходу використовується вікно $n \times n$ пікселів, центр якого рухається лінією контуру кожного об'єкта опорного зображення (K_s) (рис. 2, а). Якщо після проходження всього контуру об'єкта в зоні «видимості» даного вікна знаходяться більше $N_{\min}$ відсотків пікселів контуру об'єкта другого зображення (K_s), то вважається, що зміни даного об'єкта не відбулося. Відповідно, якщо частка відповідних пікселів менше за встановлене значення порогу $T_{\min}$, вважається, що об'єкт набув змін:

$$\left[\begin{array}{l} \frac{K_R^w \cap K_s}{K_s} \cdot 100\% \geq T_{\min} \Rightarrow \text{об'єкт змінено;} \\ \frac{K_R^w \cap K_s}{K_s} \cdot 100\% < T_{\min} \Rightarrow \text{об'єкт не змінено,} \end{array} \right. \quad (1)$$

де K_R^w – розширений за допомогою вікна контур опорного зображення; K_R та K_s – відповідно контури опорного та другого зображень.

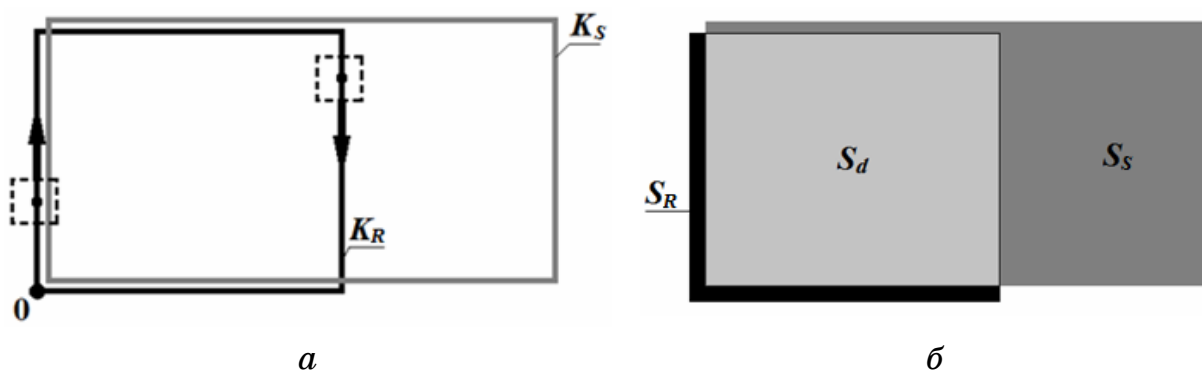


Рисунок 2 - Методи виявлення змін:

а) контурний підхід; б) просторовий підхід

За *просторового підходу* здійснюється порівняння всього зображення одночасно або по його частинах. Виявлення змін здійснюється методом диференціювання (рис. 2, б), тобто карта змін є результатом різниці об'єктів двох зображень – опорного (S_R) та зміненого (S_S). Рішення про зміну об'єкта приймається за результатом порівняння площі перетину двох об'єктів ($S_d = S_R \cap S_S$) – якщо перетину належить більше ніж T_{min} відсотків площі найбільшого з двох об'єктів, вважається, що об'єкт залишився незмінним. Якщо менше T_{min} відсотків перетину належить найбільшому з двох (або більше) об'єктів, робиться висновок про зміну відповідних об'єктів на зображенні. Формально даний метод описується наступним виразом:

$$\left[\begin{array}{l} \frac{S_d}{\max(S_R, S_S)} \cdot 100\% \geq T_{min} \Rightarrow \text{об'єкт змінено;} \\ \frac{S_d}{\max(S_R, S_S)} \cdot 100\% < T_{min} \Rightarrow \text{об'єкт не змінено,} \end{array} \right. \quad (2)$$

Основним недоліком існуючих методів є необхідність піксельного порівняння зображень проєкцій об'єктів (растрова модель об'єкта), що призводить до значних витрат обчислювальних ресурсів та зниженню швидкості ідентифікації. Саме тому в даній роботі розроблено нову векторну геометричну модель різночасових об'єктів, яка має можливість подання геометричної інформації про об'єкт через невелику кількість параметрів та потребує значно меншого об'єму обчислень (рис. 3). В якості геометричної моделі об'єкта виступає коло з *еквівалентним радіусом* (радіус кола, площа якого дорівнює площі об'єкту). Розроблена модель заснована на припущенні, що більшість пікселів об'єкта зосереджено навколо його геометричного центру. Завдяки такому спрощенню, аналіз взаємного положення (локалізації)

зводиться від аналізу положення кожного пікселя кожного об'єкта до аналізу відстані між геометричними центрами різночасових об'єктів та еквівалентних радіусів. Відповідно до цього припущення було визначено *функцію взаємної локалізації*, яка дорівнює 1, якщо відстань між геометричними центрами об'єктів менша за найменший з їх еквівалентних діаметрів. Це означає, що дані об'єкти є зображенням одного й того ж реального об'єкта або об'єктів, що займають одну й ту ж ділянку земної поверхні. Функція дорівнює 0 в інших випадках.

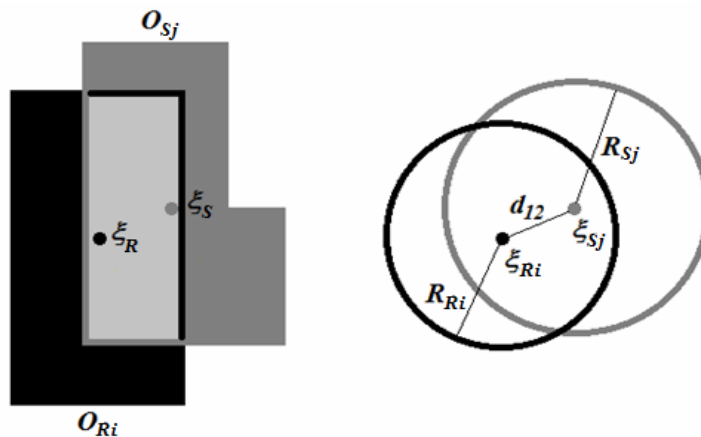


Рисунок 3 - Геометрична векторна модель різночасових об'єктів штучного походження

З виразу (3) видно, що функція є визначеною для об'єктів обох зображень: опорного (Λ_{Ri}^j) та другого ($\Lambda_{Sj}^{\forall i}$), де i та j – відповідні рядкові номери об'єктів цих зображень.

$$\begin{cases} \Lambda_{Ri}^j = 1 \text{ та } \Lambda_{Sj}^i = 1, & \text{якщо } \min(R_{Ri}, R_{Sj}) \geq d_{ij}; \\ \Lambda_{Ri}^{\forall j} = 0, & \text{якщо } \min(R_{Ri}, R_{Sj}) < d_{ij} \quad \forall j \in [1, m]; \\ \Lambda_{Sj}^{\forall i} = 0, & \text{якщо } \min(R_{Si}, R_{Rj}) < d_{ji} \quad \forall i \in [1, n]; \end{cases} \quad (3)$$

Аналіз змін здійснюється лише для об'єктів, функція локалізації яких дорівнює 1. Для виявлення змін застосовується просторовий підхід, відповідно до якого, об'єкти вважаються зміненими, якщо ступінь перекриття їх різночасових зображень лежить в діапазоні $[0,2; 0,8]$. Об'єкти зображення вважаються проекцією одного й того ж реального об'єкту, якщо ступінь їх перекриття більший за 0,8. Якщо ступінь перекриття об'єктів зображення є меншим за 0,2, дані об'єкти вважаються проекціями різних реальних об'єктів. Отже, процес ідентифікації та візуалізації змін можна поділити на 3 етапи:

1) *аналіз взаємної локалізації*;

2) класифікація об'єктів другого зображення по відношенню до першого;

3) побудова карти змін.

Впроваджено наступний метод класифікації об'єктів відповідно до їх часових змін з відповідним кольоровим маркуванням:

- *новий об'єкт* – об'єкт, що був відсутнім на опорному зображенні та присутній на другому (позначається зеленим кольором на карті змін);

- *зниклий об'єкт* – об'єкт, що був присутній на опорному зображенні та є відсутнім на другому (позначається червоним кольором на карті змін);

- *незмінний об'єкт* – об'єкт, що не набув змін у другому зображенні (позначається чорним кольором на карті змін);

- *змінений об'єкт* – об'єкт, що набув змін на другому зображенні по відношенню до опорного (позначається синім кольором на карті змін).

Результатом застосування розробленої геометричної векторної моделі є карта часових змін, зображена на рис. 5 за допомогою здійсненої в системі MATLAB програмної реалізації.



а



б

Рисунок 4 - Вихідні зображення з розпізнаними об'єктами штучного походження: а) опорне зображення; б) друге зображення

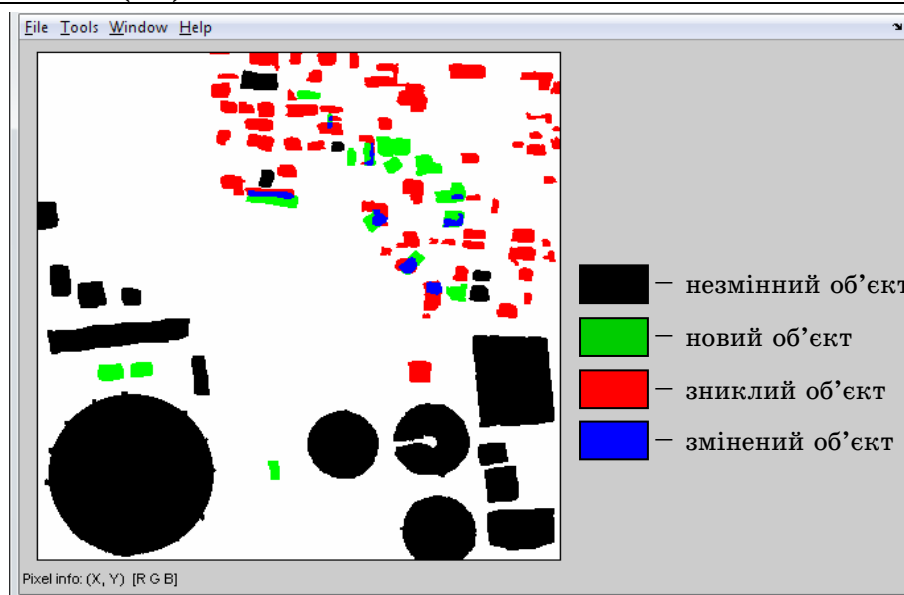


Рисунок 5 - Карта часових змін об'єктів штучного походження

Висновки та перспективи подальших досліджень

Нова геометрична векторна модель різночасових об'єктів дозволила суттєво підвищити швидкість дії розробленого на її основі алгоритму ідентифікації змін об'єктів штучного походження порівняно з традиційними методами. Результатом роботи розробленого алгоритму є побудова карти часових змін двох зображень на основі розробленого методу класифікації змін. Наші подальші дослідження будуть присвячені побудові тривимірної карти часових змін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Суцєвський Д.В. Аналіз динаміки змін об'єктів земної поверхні за різночасовими фотограмметричними зображеннями / Д.В. Суцєвський, В.В. Гнатушенко // Тези доповідей сьомої міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2009)» — Дніпропетровськ: ДНУ, 2009. — С. 262-263.
2. Гнатушенко В.В. Комбінований метод виявлення об'єктів штучного походження за даними багатоспектральної зйомки / В.В. Гнатушенко, Д.В. Суцєвський // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К.: КНУБА, 2010. — Вип. 84. — С. 152-157.

Получено 12.01.2011г

В.Ф. Мазорчук, В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко, В.П. Доценко
**ВЛИЯНИЕ ПЛАВАЮЩЕЙ ПРИБЫЛЬНОЙ ВСТАВКИ НА
ПЛОТНОСТЬ ЛИТОГО МЕТАЛЛА**

Аннотация: Представлены результаты исследований плотности литого металла слитка отлитого с плавающей прибыльной вставкой, и слитка отлитого по технологии фасонносталелитейного цеха ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ». Установлено увеличение плотности литого металла в слитке, отлитом с использованием плавающей прибыльной вставки.

Ключевые слова: Плотность литого металла, кристаллизация, плавающая прибыльная вставка, осевая пористость, подприбыльные дефекты, слиток, отливка.

Введение

При современном уровне развития различных отраслей машиностроения, повышаются и требования, предъявляемые к отливкам. Получение отливок с заданными физико-химическими свойствами на протяжении многих лет является актуальной задачей [1]. Известно, что значительное влияние оказывают на получение качественной отливки качество используемых шихтовых материалов, условия разливки и кристаллизации, способы металлургических переделов, технологический уровень доводки металла и т.д. [2].

Анализ предыдущих исследований и публикаций и постановка задачи

Технология приготовления металлических расплавов должна обеспечивать высокое качество отливок, быть простой и надежной, осуществляться с минимальным расходом используемых материалов и энергии. Создание такой технологии возможно только при глубоком изучении физико-химических свойств жидких металлов и сплавов, а так же анализа возможных процессов взаимодействия расплава с газами, огнеупорными материалами и пр. [1, 2].

Одним из важнейших свойств является плотность металлов и сплавов в жидком и твердом состоянии. Изменение плотности метал-

лов и сплавов с изменением температуры имеет очень большое значение для получения качественных литых заготовок [3].

Увеличение плотности при охлаждении расплава и его кристаллизации, выражающееся в уменьшении объема, предопределяет так называемую объемную усадку, которая проявляется в понижении уровня расплава в литейной форме и образовании в отливке пустот – усадочных раковин и пористости. Рост плотности металла или сплава в твердом состоянии при охлаждении приводит к сокращению линейных размеров отливки, т.е. к линейной усадке. Правильно разработанная технология получения отливки должна обеспечивать отсутствие пустот и заданные линейные размеры.

В зависимости от величины, характера и места расположения в отливке, усадочная пористость снижает не только герметичность, но и механические и эксплуатационные свойства сплава, из которого изготовлена отливка. Один из методов предотвращения значительной усадочной пористости, является установка прибылей. Направление теплового потока в нижнюю часть и сохранение металла в объеме прибыли как можно дольше в жидком состоянии с целью питания возникающих в процессе затвердевания усадочных пустот в теле слитка является главным назначением прибыли. Эффективная работа прибыли обеспечивает устранение подприбыльных дефектов, осевую пористость, что приводит к повышению плотности литого металла [2-4]. Во многих работах достаточно обширно рассмотрен вопрос об эффективности работы прибыли, влиянии ее на качество литого металла, однако отсутствуют данные о влиянии плавающей прибыльной вставки на плотность литого металла.

Цель исследований: Определить влияние плавающей прибыльной вставки на плотность углеродистой стали.

Анализ полученных результатов

Для определения плотности литого металла отлито 4 слитка по действующей технологии фасонносталелитейного цеха ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» и 1 слиток с плавающей прибыльной вставкой. Масса каждого слитка составляла ~2700 т, диаметр ~460 мм, температура заливаемой Ст20 составляла ~1630°C. Для исследования плотности литого металла провели порезку слитков на диски [5]. Плотность литого металла исследовали в центральной и боковой частях опытного и серийного слитков.

Плотность стали исследовали методом гидростатического взвешивания образцов в четыреххлористом углероде и на воздухе [6-8]. Взвешивание образцов производили на аналитических весах модели WA-21. Изучаемый металл загружали в сетку, выполненную из платиновой проволоки. Образец перед исследованием обезжиривали и скругляли острые кромки, так как при погружении в CCl_4 на острых краях возможно образование воздушных пузырьков, понижающих точность измерения. Расчет производили по формуле:

$$\rho = \frac{P}{P - Q}(\delta - \lambda) + \lambda \quad (1)$$

где P – масса образца в воздухе, г;

Q – масса образца в CCl_4 , г;

δ – плотность CCl_4 - 1,59590 г/м³;

λ – плотность воздуха - 0,00122 г/м³.

Особенностью выполненного расчета является учет влияния температуры окружающей среды на значения плотности воздуха и CCl_4 . Температура воздуха при измерении составляла 18,5°C.

Таблица 1

Плотность литой стали в исследуемых зонах слитка

Вид слитка	Высоты порезки слитка на диски (10 мм-, расстояние от прибыльной части слит- ка), мм	Центр слитка, 180 мм	Поверхностная часть слитка, 20 мм
		Плотность ли- того металла, δ г/м ³	Плотность литого металла, δ г/м ³
Опытный	10	7,8284	7,8479
	360	7,8758	7,8381
	710	7,8612	7,8675
	1060	7,8898	7,8855
	1410	7,8877	7,8901
Серийный	10	7,8289	7,8475
	360	7,7449	7,8215
	710	7,7945	7,8612
	1060	7,8798	7,8758
	1410	7,8875	7,8929

Значения плотности литого металла в исследуемых зонах опытного и серийного слитков представлены на рис. 1 и рис. 2.

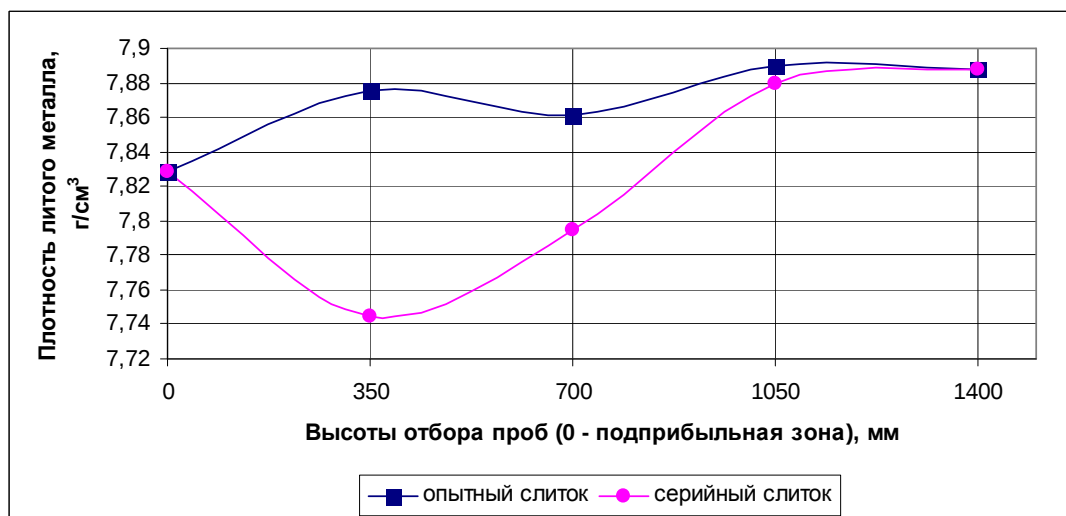


Рисунок 1 – Плотность литого металла в центральной зоне опытного и серийного слитков

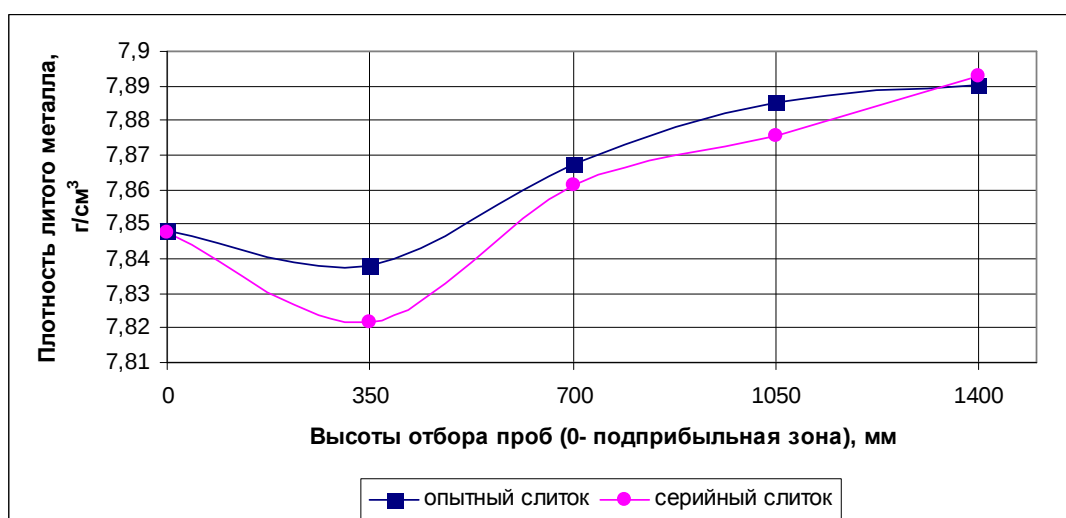


Рисунок 2 – Плотность литого металла в поверхностной зоне опытного и серийного слитков

Полученные данные показывают, что применение прибыльной вставки приводит к увеличению плотности литого металла в опытном слитке как центральной, (рис.1) так и в поверхностной зонах (рис. 2). Среднее значение плотности серийного слитка составила $7,843 \text{ г/см}^3$, а опытного $7,867 \text{ г/см}^3$.

Увеличение плотности литого металла обусловлено тем, что плавающая прибыль в процессе заливки аккумулировала тепло заливаемого расплава и обеспечила направленное затвердевание осевой зоны слитка. Следовательно, конструкция вставки обеспечивает эф-

фективное утепление прибыльной части слитка, исключаящее образование «мостов» и нарушение питания усадки осевой зоны до момента полного затвердевания.

Выводы

1. Установлено повышение плотности литого металла слитке с плавающей прибыльной вставкой до $7,867 \text{ г/см}^3$, в то время как в слитке, отлитом по серийной технологии, плотность составила $7,843 \text{ г/см}^3$.

2. Эффективная работа плавающей прибыли исключает образование «мостов» и нарушение питания усадки осевой зоны до момента полного затвердевания.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Ефимов. Разливка и кристаллизация стали / М.: «Металлургия», 1976. – 551 с.
2. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях / Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Момот С.В., Амитан В.Н. – Д.: Издательство «ВИК» – 2002. – 169 с.
3. А.М. Михайлов, Б.В. Бауман, Б.Н. Благов и др. Литейное производство: Учебник для металлургических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с., ил.
4. Б.Б. Гуляев. Литейные процессы / М.-Л.: Машгиз., 1960. – 416 с.
5. Хрычиков В.Е., Мазорчук В.Ф., Усенко Л.В. Влияние плавающей прибыльной вставки на распределение неметаллических включений в стальном слитке // Теория и практика металлургии. – 2010. – №34. – С. 31-33.
6. Бетунер Л.М. Математические методы в химической технике / Л. Бетунер, М. Позин. – Л.: Химия, 1968. – 136 с.
7. Высококачественные чугуны для отливок / [Шумихин В.С., Кутузов В.П., Храмченко А. И. и др.]; – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.
8. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / [Захарченко Э.В., Левченко Ю.Н., Горенко В.Г. и др.] – К.: Наук. думка, 1986. – 248 с.

Получено 15.01.2011г.

Е.В. Золотовская

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПИРОЛИЗНОЙ КАМЕРЕ

Аннотация. В статье приводятся расчетные и экспериментальные зависимости гидродинамических параметров псевдоожигенного слоя, в котором реализован процесс низкотемпературного пиролиза. Установлена область устойчивого псевдоожигения, в которой колебательными движениями теплоносителя можно управлять и таким образом управлять эффективностью тепломассообменных процессов в пиролизной камере.

Введение. В промышленности, сельском хозяйстве всё больший интерес вызывает использование нетрадиционных источников энергии, к которым можно отнести биогаз, полученный путём термической обработки отходов сельского хозяйства, в частности перерабатывающих предприятий.

Исследование большого числа пиролизных установок различной конструкции показало, что многие из них не отвечают основным требованиям технологии пиролиза. В научной литературе описывается получение топливного газа [1–4]. Однако приведенные способы и устройства имеют ряд недостатков. Это несовершенство технологических режимов с малым выходом газообразного топлива (30–40 % от массы органического вещества), осуществляемых без учета изменения влажности. Не рассматриваются тепломассообменные процессы при термическом разложении органического сырья. В работах [3,4] не предусмотрены меры оперативного реагирования на текущее изменение физико-механических свойств в потоке сырья и коррекции параметров технологического процесса пиролиза с целью достижения требуемых оптимальных результатов. Теоретическое обоснование в цитируемых работах не приведено. Поэтому на сегодняшний день задача технологического и аналитического обоснования физических процессов, происходящих при пиролизе биомассы, является актуальной.

Одним из эффективных методов в исследовании механизма и кинетики процессов термохимического превращения отходов биомассы является комплексный термический анализ, включающий математическое моделирование. Отметим, что использование только математической модели дает погрешность при оценке и интерпретации получаемых результатов, а иногда и явно ошибочные гипотезы. Феноменологическое описание нуждается в дополнительной информации, главным образом структурного характера, что особенно важно при исследовании динамики процессов.

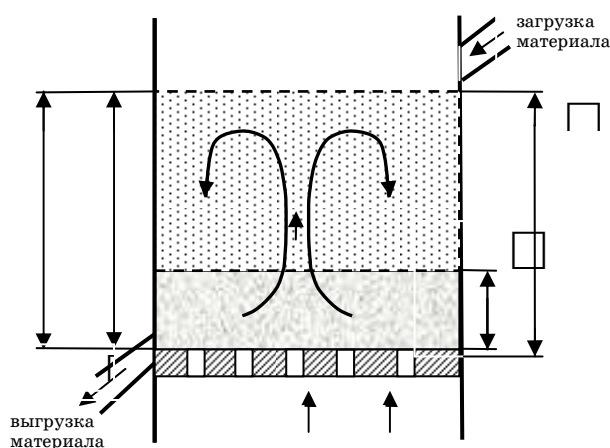
Цель работы. Определить гидродинамические характеристики пиролизной трубы и зависимость давления в слое режимов обработки.

Материалы и результаты исследований. В предложенной технологической схеме пиролиз сырьевой массы осуществляется в два этапа:

□ предварительная сушка и пиролиз сырьевых частиц в вертикально расположенной трубе-сушилке при температуре теплоносителя (рис.1) 240-420 °С с 60% выходом летучих компонентов;

□ пиролиз в неподвижном слое со 100% выходом летучих компонентов.

(вертикальный канал), согласно разработанной технологической схеме (рис.1).



а)



б)

Рисунок 1 - Технология сушки-пиролиза мелкодисперсных материалов:

а) схема технологии пиролиза

б) фотография установки пиролиза

Эффективность процесса пиролиза зависит от температуры газа-носителя и гидродинамических режимов продувания псевдоожиженного слоя. Эти режимы установлены в работе [5]. Взаимодействие газа носителя с дисперсным слоем характеризуется существенной неравномерностью давления в слое, что при определенных условиях может приводить к самовоспламенению биомассы.

Для получения экспериментальной и расчетной зависимостей гидравлического сопротивления псевдоожиженного слоя сырьевого материала ΔP , высоты слоя H и порозности от скорости газа создана лабораторная установка, показанная на рис. 1

При скоростях потока близких к первой критической скорости $U_{кр1}$ слой переходит в состояние псевдоожижения. При этом частицы начинают перемещаться. Таким образом, обеспечивается хорошее перемешивание материала, усреднение температуры в слое и равномерно распределенное взаимодействие с теплоносителем. Возникают и пульсации давления (частота $\nu=1-2$ Гц). Однако для достижения устойчивого гидродинамического состояния слоя необходимо повышать расход газа и скорость воздуха. При достижении второй критической скорости $U_{кр2}$ слой разрушается.

Для наших условий критерий $Ar=5,9 \cdot 10^6$ и $Lu=0,46$, что соответствует первой критической скорости.

Исследуемые зависимости представлены на рис. 2.

На рисунках показаны расчетная зависимость (1) и экспериментальная (кривая 2), которая несколько отличается от расчетной. Повышение сопротивления слоя ΔP в области значений скорости 0,4 м/с и гистерезис обусловлены, очевидно, силами сцепления между частицами слоя и трением о стенки аппарата. На графиках нет четкой границы начала псевдоожижения, поскольку материал полидисперсный и для каждой фракции псевдоожижение начинается при разных критических скоростях, близких к 0,4 м/с.

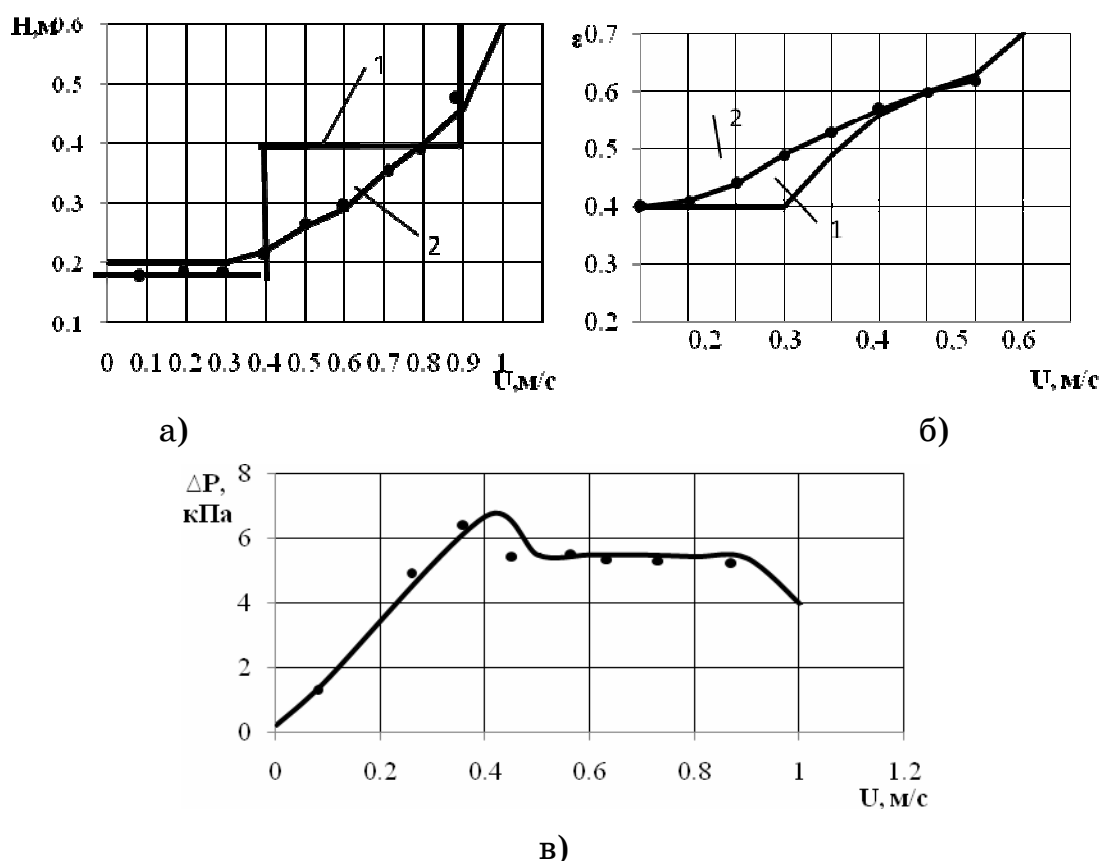


Рисунок 2 - Экспериментальные зависимости гидродинамических параметров слоя от скорости воздуха: а) высоты слоя; б) порозности; в) сопротивления слоя 1- расчетная кривая, 2- эмпирическая зависимость

От температуры воздуха критическая скорость ожижения зависит мало (рис.3), и учитывается теплофизическими характеристиками газа.

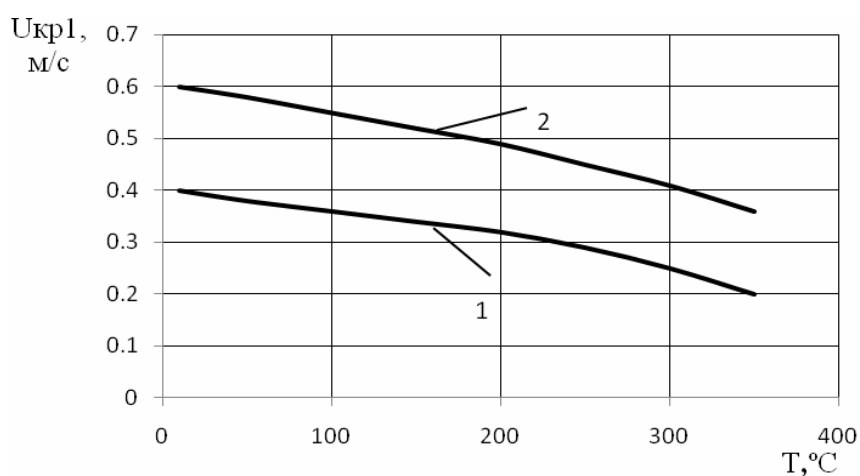


Рисунок 3 - Зависимость критической скорости псевдоожигения от температуры воздуха

1 – влажность материала 8%; 2 – влажность материала 30%.

Если слой содержит влажный материал и в процессе термообработки происходит испарение влаги, то изначально скорость $U_{кр1}$ превышает этот показатель для сухого, но влияние температуры для этого материала более заметно.

Между скоростями начала псевдооживления материала при атмосферном $U_{кр1}$ и повышенном $U_{кр}^*$ давлении существует зависимость, где ρ_0 и ρ_0^* - насыпная плотность слоя при атмосферном и повышенном давлении; λ_0 и λ^* - сопротивление слоя при атмосферном и повышенном давлении.

При ламинарном режиме течения, характерном для частиц сравнительно малого диаметра, коэффициент сопротивления обратно пропорционален Re . С увеличением давления повышается и плотность воздуха, поэтому переход частиц небольшого размера в псевдооживленное состояние происходит при больших числах Re , следовательно, при меньших значениях сопротивления. Одновременное увеличение плотности и снижение коэффициента сопротивления приводит к тому, что их произведение остается практически неизменным. Для крупных частиц, которые переходят в псевдооживленное состояние в турбулентной области, λ изменяется мало, поэтому знаменатель в уравнении (1) возрастает, а $U_{кр}^*$ - уменьшается. Таким образом, псевдооживление начинается при более низких скоростях, тем ниже, чем выше давление.

Для наших условий давление $(0,1-2,5)10^5$ Па. Исследование динамических параметров слоя выполнены на лабораторном стенде и результаты приведены на рис. 4.

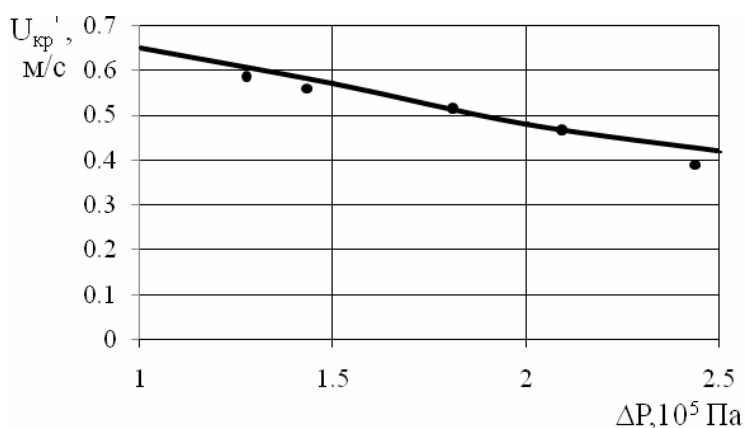
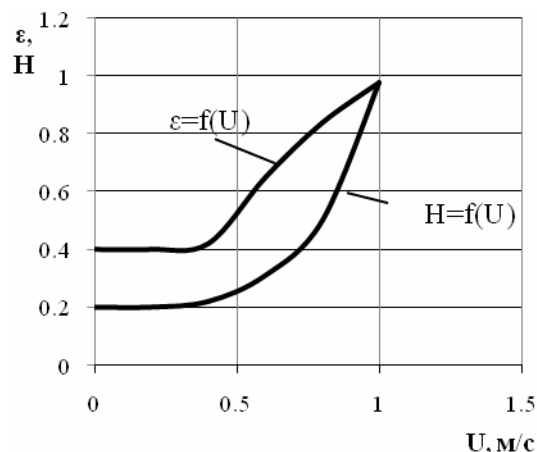


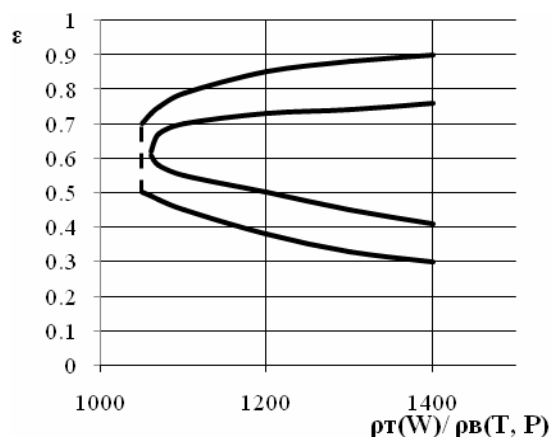
Рисунок 4 - Зависимость $U_{кр}$ от давления (влажность частиц 40%, средний диаметр-4 мм)

Таким образом, границы существования кипящего слоя зависят от частотных характеристик (геометрических параметров и скорости газа); температуры и давления среды. Настоящими исследованиями установлены значения данных параметров, которые обобщены эмпирическими зависимостями (рис.5) и соответствующим уравнением

$$\varepsilon = \frac{0,8Re^{0,6}}{Ar^{0,2}}, 2.$$



а)



б)

Рисунок 5 - Обобщенные зависимости показателей кипящего слоя:

а) порозности и высоты слоя от скорости воздуха;

б) порозности от отношений плотности воздуха и частиц

Пределы существования устойчивого пульсирующего слоя (частота 1-2 Гц) частиц с влажностью 10-40% в температурном диапазоне 100-400 °С показаны на рис. 3 б). Это обобщающая зависимость для пиролиза сырьевых частиц различной природы и влажности справедлива для высоты слоя $H \approx D$.

Выполненные экспериментальные исследования и полученные расчетные данные свидетельствуют о том, что совместная гидродинамическая характеристика вертикального теплообменного аппарата с дисперсной загрузкой будет существенно отличаться от характеристик пустой пиролизной камеры. Как показывает опыт, наложение пульсаций частиц и собственных пульсаций аппарата может приводить к нарушению движения частиц сырьевой массы. Между тем задача сводится к нахождению и теоретическому обоснованию таких гидродинамических режимов, при которых частицы будут перемещаться вверх по вертикальной трубе под действием теплоносителя и как можно дольше оставаться в термодоконтакте, т. е. их скорость

должна быть близка к скорости витания. Для этого следует определить область устойчивой работы аппарата относительно параметров P и G .

Область устойчивой работы камеры, заполненной материалом, совместно с нагнетателем (график 2 на рис. 6) обозначена предельным циклом (график 3 на рис. 6), в котором колебательными движениями

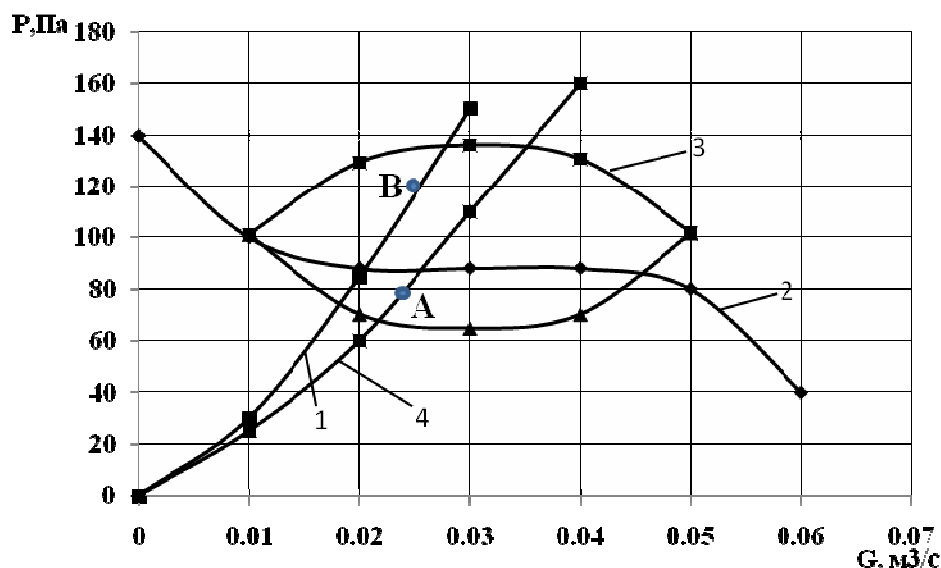


Рисунок 6 – Гидродинамические характеристики трубы:

1 – напорная характеристика с учетом пульсаций давления; 2 – характеристика нагнетателя; 3 – аттрактор; 4 – напорная характеристика с минимальным давлением теплоносителя можно управлять и таким образом управлять эффективностью тепломассообменных процессов в вертикальной трубе

Введение в канал распределенного сопротивления в виде дисперсной загрузки сырьевого материала способствует уменьшению амплитуды колебаний. Частота пульсаций давления в исследуемом лабораторном аппарате и напорная характеристика (1 – max, 4 – min) на рис.6 попадают в область устойчивой работы трубы-сушилки (от значений «А» до «В»).

Выводы

1. Установлено экспериментально и подтверждено расчетным путем, что амплитуда колебаний зависит от режима движения теплоносителя в вертикальном канале, расхода частиц, акустических характеристик аппарата.

2. Установлено, что изменение перечисленных факторов может приводить к соответствующему изменению интенсивности тепло-массообменных процессов в аппарате.

3. Определены экспериментально основные гидродинамические характеристики псевдооживленного слоя.

4. Построены предельные циклы устойчивой работы аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гелетуха Г.Г. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине / Г.Г. Гелетуха., Т.А. Железна // Промышленная теплоэнергетика. – 2005. – № 1. – С. 78 – 85.
2. Карпенко Е.М. Основные этапы совершенствования способов сжигания твердых топлив и их наиболее перспективные современные направления / Е.М. Карпенко, В.Е. Мессерле, В.С. Перегудов // Теплоэнергетика. – 2003. – № 12. – С. 42.
3. Кожурин В.Н. Пиролизный газ из отходов растениеводства / В.Н. Кожурин // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 319 – 324.
4. Стеблинин А.Н. Технология быстрого низкотемпературного превращения растительного сырья в жидкое топливо / А.Н. Стеблинин, И.Э. Миневиц // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 345 – 349
5. Золотовская Е.В. Особенности термического разложения частиц биомассы / Е.В. Золотовская // Сборник научных трудов Днепро-дзержинского государственного технического университета. – 2010.- №2.

Получено 17.01.2011г.

УДК 669.162.231.085 (9088.8)

Л.П. Грес, С.А. Карпенко, А.О. Еремин, Т.В. Самойленко,

Е.А. Каракаш, А.Е. Быстров, Ю.М. Флейшман, М.М. Волкова

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР) ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние автоматизации тепловой работы воздухонагревателей доменных печей. Показаны недостатки уровня автоматизации и приводятся пути их преодоления путем использования матмоделей и микропроцессорной техники.

Еще в 50-х годах XX в. доменные воздухонагреватели (ВН) были оснащены системами:

1. Стабилизации влажности дутья, температур: под куполом и горячего дутья.

2. Давления доменного газа перед блоком ВН.

По истечении 60 лет ВН Украины по-прежнему нуждаются в оснащении их дополнительными САР:

1. Общей тепловой мощности блока ВН и каждого ВН в отдельности.

2. Горения (соотношения газ-воздух).

3. Длительностей периодов работы ВН.

4. Теплоты сгорания топливной смеси (или температур подогрева компонентов горения (газа и воздуха)).

В 90-х гг. XX в. в Украине стали использовать микропроцессорную технику для стабилизации температуры горячего дутья, давления доменного газа, а также для замены самопишущих приборов. Однако в Украине математические модели тепловых процессов в ВН не используются и ныне. Поэтому в САР ВН необходимо использовать матмодели и микропроцессорную технику.

1. Управление тепловой мощностью отопления ВН

Управление тепловой мощностью отопления воздухонагревателя $M_{\text{общ}}$:

© Грес Л.П., Карпенко С.А., Еремин А.О., Самойленко Т.В.,
Каракаш Е.А., Быстров А.Е., Флейшман Ю.М., Волкова М.М., 2011

$$M_{общ_i} = B_i \cdot Q_H^p, \quad (1)$$

где B_i, Q_H^p – расход и теплота сгорания топлива соответственно.

Тепловая мощность ВН связана с заданными технологией доменной плавки температурами горячего и холодного дутья, его расходом:

$$B \cdot v_{дым} \cdot (i_{дым_n} - i_{дым_k}) \cdot \tau_1 = V_{дуть_{ВН}} \cdot (i_{дуть_k} - i_{дуть_n}) \cdot \tau_2, \quad (2)$$

где $v_{дым}$ – удельный выход дыма (с 1 м³ газа), определяемый в расчете горения топлива; $i_{дуть}$, $i_{дым}$ – энтальпии дутья и дыма соответственно (н – начальная, к – конечная); $V_{дуть_{ВН}}$ – расход дутья через ВН; τ_1 , τ_2 – продолжительности периодов нагрева (1) и дутья (2).

Для блока ВН, состоящего из N аппаратов, причем m – количество ВН на дутье:

$$B_{бл} \cdot Q_H^p \cdot \eta_{нд_{бл}} = V_{дуть_{ДП}} \cdot (i_{дуть_{ДП}} - i_{дуть_n}), \quad (3)$$

где $i_{дуть_{ДП}}$, $V_{дуть_{ДП}}$ – энтальпия и расход дутья перед доменной печью соответственно.

Коэффициент полезного действия $\eta_{нд_{бл}}$ блока ВН связан $\eta_{нд_n}$ (ВН на нагреве) и $\eta_{нд_{дуть}}$ (ВН на дутье):

$$\eta_{нд_n} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; \quad (4)$$

$$\eta_{нд_{дуть}} = \frac{Q_{дуть} \cdot \tau_2}{Q_1 \cdot \tau_1}; \quad (5)$$

$$\eta_{нд_{бл}} = \frac{N \cdot m}{N} \cdot \eta_{нд_n} + \frac{m}{N} \cdot \eta_{нд_{дуть}} - \frac{Q_{пот} \cdot (\tau_1 + \tau_2) - Q_{рев}}{Q_1 \cdot \tau_1}, \quad (6)$$

где $Q_1, Q_2, Q_{дуть}$ – соответственно теплоты продуктов горения, входящих в ВН и выходящих из него, а также теплота дутья на выходе из ВН, МВт; $Q_{рев}$ – потери теплоты, сопровождающие реверсирование ВН и пересчитанные на тепловые потери (потери топлива, физической теплоты воздуха и газа, от снижения теплоусвоения насадками и др.), МДж/реверсирование (перекидка); $Q_{пот}$ – постоянные тепловые потери ВН, МВт.

Общее количество топлива $B_{бл}$ в выражении (3), необходимого для нагрева блока ВН, определяется из суммы:

$$B_{бл} = \sum_{i=1}^{N-m} B_i, \quad (7)$$

где V_i удовлетворяют выражению (2).

Распределение расходов топлива через i -тый ВН должно удовлетворять условию:

$$\frac{B_i}{B_{\text{ол}}} = \frac{\frac{\alpha_i \cdot \sqrt{\Delta p_i}}{v_{\text{дым}}}}{\sum_{i=1}^{N-m} \frac{\alpha_i \cdot \sqrt{\Delta p_i}}{v_{\text{дым}}}}, \quad (8)$$

где α_i – коэффициент расхода i -го ВН; Δp_i – перепад давления дымовых газов на i -ом ВН.

2. Управление горением в ВН (соотношением топливо-воздух)

Управление качеством горения актуально в связи с дороговизной топлива, особенно природного газа, используемого для обогащения доменного. В настоящее время, когда появились ВН с купольным отоплением, оборудованные струйно-вихревыми горелками, обеспечивающими на выходе дыма из ВН содержание СО 10ч20 мг/м³ (нормы ТА Lыft ФРГ допускают до 100 мг/м³ СО), что на 3 порядка меньше, чем при существующих металлических горелках типа «труба в трубе», ясно, что ВН должны быть оборудованы САР горения с коррекцией по СО и О₂ в отходящем дыме, а старые ВН, которых на Украине более 100, должны быть оснащены струйно-вихревыми горелками с САР регулирования горения. При подаче природного газа на обогащение доменного выгодно иметь отдельную подачу природного газа на каждый ВН с регулированием горения изменением его расхода. При централизованном обогащении природным газом регулятор горения должен воздействовать на расход природно-доменной смеси. При работе блока ВН с подогревом компонентов горения упомянутый регулятор должен воздействовать на подачу воздуха горения.

3. САР теплоты сгорания топливной смеси (температур подогрева компонентов горения)

Назначение данной САР – в стабилизации температуры под куполом ВН в период нагрева с целью уменьшения колебаний температуры кладки купола, вызывающих малоцикловую усталость кладки и ее скалывание. Кроме того, эта САР обеспечивает уровень подогрева насадки, необходимый для получения требуемой температуры горячего дутья для доменной печи.

Температура под куполом ВН:

$$t_{\text{куп}} = \eta_{\text{пир}} \cdot t_{\text{кал}}, \quad (9)$$

где $\eta_{\text{пир}}$ – пирометрический коэффициент горения.

$$t_{\text{кал}} = \frac{Q_{\text{нсм}}^p + Q_{\text{физ}}}{V_{\text{дыл}} \cdot C_o^{t_{\text{кал}}}}; \quad (10)$$

$$i_{\text{кал}} = \frac{Q_{\text{нсм}}^p + Q_{\text{физ}}}{V_{\text{дыл}}}, \quad (11)$$

где $t_{\text{кал}}$, $i_{\text{кал}}$ – калориметрические температуры горения и энтальпия соответственно; $Q_{\text{физ}}$ – физическая теплота воздуха горения и топлива.

Теплота сгорания топливной смеси:

$$Q_{\text{нсм}}^p = \frac{Q_{\text{ндо}}^p \cdot V_{\text{до}} + Q_{\text{нпг}}^p \cdot V_{\text{пг}}}{V_{\text{до}} + V_{\text{пг}}}, \quad (12)$$

где $Q_{\text{ндо}}^p$, $Q_{\text{нпг}}^p$, $V_{\text{до}}$, $V_{\text{пг}}$ – теплоты сгорания и расходы соответственно доменного и природного газов.

При колебаниях теплоты сгорания доменного газа, связанной с технологией ведения доменной плавки, теплоту сгорания топливной смеси необходимо регулировать изменением добавки природного газа или изменением уровня подогрева компонентов горения путем воздействия на дроссель на байпасе системы утилизации теплоты отходящего дыма блока ВН.

4. САР длительностей периодов работы ВН

Оптимизация длительностей периодов работы ВН может быть реализована по таким критериям, которые приводят к максимальному нагреву дутья:

- максимуму теплоусвоения насадками ВН;
- максимальному КПД ВН и блока ВН;
- максимуму температуры горячего дутья, для чего используется матмодель тепловой работы ВН [1];
- максимуму теплопоглощения продуктов горения;
- максимум экономической эффективности тепловой работы блока ВН и другие.

В любом случае отделенный ВН по достижении ограничения по температуре отходящего из ВН дыма должен быть поставлен на дутье и не находиться в отделенном состоянии. Кроме того, ВН, находившийся на дутье, после закрытия смесителя должен быть переключен на нагрев. Т.к. в блоке ВН отдельные ВН имеют различные теплотехнические характеристики, то для облегчения их получения на тракте

горячего дутья после каждого ВН следует установить по термопаре, с помощью которой эти характеристики можно получить без трудоемкого их снятия посредством штатной термопары, установленной перед печью после смесителя (который при этом закрыт) с подачей в дутье водяного пара-компенсатора.

Выводы. САР тепловой работы доменных воздуходувателей необходимо дополнить САР:

- общей тепловой мощности блока ВН и каждого ВН в отдельности;
- горения (соотношения газ-воздух), например, с коррекцией по содержанию СО и О₂ в отходящем дыме ВН;
- длительностей периодов работы ВН;
- теплоты сгорания топливной смеси (или температур подогрева компонентов горения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Грес Л.П. Высокоэффективный нагрев доменного дутья. Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 492 с.
2. Л.П. Грес, Т.В. Самойленко, Ю.М. Флейшман. Исследование влияния длительности периодов работы доменных воздуходувателей на эффективность нагрева дутья. Сб. трудов НМетАУ, Metallургическая теплотехника, том 4. – Днепропетровск, 2008. – С. 118-128.

Получено 18.01.2011г.

Е.А. Джур, А.Ф. Леднянский, О.В. Бондаренко

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНОСТЕЙ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. В статье рассмотрена возможность и ориентировочно определены объемы выплавки деформируемых алюминиевых сплавов с использованием мощностей литейных цехов машиностроительных заводов.

Ключевые слова. Деформируемые алюминиевые сплавы, плавильные печи, мощность литейных цехов.

Постановка задачи

Для современной экономики Украины характерно наличие незамкнутых циклов создания различных изделий машиностроения, то есть разрывов в цепочке от разработки изделия до его изготовления и испытаний, включая сюда и производство необходимых материалов. Эти разрывы технологических циклов приводят к серьезной зависимости украинских предприятий от своих иностранных партнеров, которые во многих случаях являются не только партнерами, но и конкурентами. Наиболее чувствительно такое положение в высокотехнологичных отраслях машиностроения. Для многих отечественных предприятий характерно использование устаревшего комплекса материалов и технологий, а также соответствующего ему технологического оборудования. К тому же имеющееся оборудование загружено не на полную мощность. Все это приводит к резкому снижению конкурентоспособности отечественной продукции на мировом рынке. Радикальное обновление оборудования, а также комплекса материалов и технологий требует значительных средств, которых у многих отечественных предприятий недостаточно. Помимо привлечения заемных средств и инвестиций предприятиям необходимо изыскивать внутренние резервы повышения собственной конкурентоспособности. Одним из таких резервов является расширение сферы применения имеющегося, нередко простаивающего, оборудования при условии,

разумеется, обеспечения качества выпускаемой продукции. При этом осваиваются новые технологии, производство новых видов продукции, обновляется номенклатура производимых и применяемых материалов. Фактически речь идет об уменьшении объема капиталовложений, необходимых для переоснащения предприятий, доведения их до современного уровня, обеспечения возможности успешной деятельности и развития.

Например, в Украине слабо развито производство таких важных для любой промышленно развитой страны материалов, как деформируемые алюминиевые сплавы. Речь идет о сплавах систем Al-Mg (AMг6), Al-Mg-Sc (1570), Al-Mg-Sc-Zr (1545,1535), Al-Zn-Mg-Cu (B95, B96), Al-Zn-Mg (1925,1915,1935), Al-Cu-Mg (Д16, Д19), Al-Cu-Mn (Д20,1201), Al-Mg-Li (1420), Al-Cu-Li и других, особенно высокопрочных. Острую потребность в них ощущают такие отрасли как транспортное машиностроение (строительство вагонов, локомотивов, особенно для скоростных поездов и метрополитенов), судостроение, авиационная, ракетно-космическая промышленность[1,2,3]. Наилучшим вариантом решения данной проблемы является, естественно, строительство современного металлургического предприятия, позволяющего получать прокат и пресованные профили из алюминиевых сплавов. Однако создание такого предприятия требует огромных затрат средств и времени. Следует отметить, что современные отечественные предприятия наиболее часто нуждаются в малых партиях полуфабрикатов из широкой номенклатуры деформируемых алюминиевых сплавов. Приобрести такие партии у металлургических предприятий либо невозможно, либо цена делает использование покупных полуфабрикатов нецелесообразным. Однако на многих предприятиях простаивают значительные мощности по выплавке литейных алюминиевых сплавов. Потребность в отливках из силуминов и других сплавов в настоящее время намного ниже, чем проектная мощность литейных цехов. Увеличение спроса на отливки из литейных алюминиевых сплавов, по крайней мере, со стороны отечественных предприятий, маловероятно, так как экономика Украины фактически ут-

ратила отрасли и подотрасли, которые являются основными потребителями алюминиевого литья, например, сельскохозяйственное двигателестроение. Со стороны иностранных предприятий увеличение спроса также маловероятно, так как многие государства имеют достаточно высокоразвитое производство литейных алюминиевых сплавов и отливок из них. Вместе с тем отрасли, в основном потребляющие деформируемые алюминиевые сплавы, имеют реальные перспективы устойчивого развития.

Формулировка целей статьи

Таким образом, имеет смысл рассмотреть техническую возможность задействования простаивающих мощностей литейных цехов машиностроительных заводов для выплавки деформируемых алюминиевых сплавов. Необходимо оценить, возможно ли использование плавильных печей литейных цехов для выплавки деформируемых сплавов с учетом потребности Украины в полуфабрикатах из этих материалов на уровне нескольких тысяч тонн и более. Оценку целесообразно производить по таким критериям: сырье, технологии и оборудование, объем выплавки металла в печах различной емкости.

Основная часть

В качестве сырья для выплавки слитков деформируемых алюминиевых сплавов возможно использование первичного алюминия как отечественного, так и импортного производства. В настоящее время наиболее доступен импортный первичный алюминий. Лигатуры могут быть как отечественными (например, «ГП «Цирконий»), так и импортными (например, фирма «Cast»). Аналогичным образом обстоит дело с флюсами и модификаторами. Возможно также использование вторичного алюминия отечественного или импортного производства, тем более что некоторые алюминиевые сплавы, особенно не сварные, специально разработаны с учетом возможности использования для их выпуска вторичного алюминия и сырья с высоким содержанием вредных примесей. Все указанные виды сырья производятся либо продаются на мировом рынке без ограничений. Таким образом, сырье относительно доступно и его достаточно для удовлетворения

потребностей экономики Украины в настоящее время и в ближайшем будущем.

Многие технологии, по данным открытой печати, необходимые для выплавки деформируемых алюминиевых сплавов, такие как вакуумирование и фильтрация расплава через керамические или металлические сетки, достаточно хорошо известны отечественным специалистам-литейщикам и находят применение. Обилие модификаторов отечественного и иностранного производства, а также постоянное появление новых создает даже некоторые проблемы для заводских технологов, связанные с выбором оптимального в каждом конкретном случае модификатора. Температура перегрева в плавильных печах различной конструкции обеспечивает возможность разливки сплавов в водоохлаждаемые формы, что необходимо для изготовления столбов (слитков), применяемых в производстве прессованных профилей и труб. Серьезной проблемой для дальнейшей обработки алюминиевых сплавов давлением является неравномерность их химического состава по сечению слитка. Чем массивнее слиток, тем выше вероятность ликвации. Для уменьшения ликвации может быть использована комбинированная гомогенизирующая обработка, состоящая в одновременном действии температуры и пластической деформации. Степень деформации, температура нагрева, скорость деформации зависят от химического состава сплава, формы, размеров и назначения полуфабрикатов. Возможно и более сложное воздействие с использованием различных физических эффектов. Такая обработка может применяться не только в качестве гомогенизирующей, но и в качестве формообразующей [4].

Прессование профилей, труб и оребренных панелей, прокатка листа представляют собой самостоятельные сложные научные и технические задачи. Их решение возможно с использованием как имеющегося оборудования отечественных машиностроительных и металлургических заводов, так и путем строительства новых прессов и прокатных станов необходимой мощности и производительности. В

Украине на нескольких предприятиях работает около 15 прессовых линий по производству алюминиевых профилей. В настоящее время эти предприятия в основном загружены изготовлением профилей, предназначенных для изделий широкого употребления, но имеют также практический опыт работы с деформируемыми сплавами различных систем и различного назначения. В случае экономической выгоды выпуска полуфабрикатов из деформируемых, в том числе высокопрочных, алюминиевых сплавов, можно рассчитывать и на эти мощности. На выпуске мощного кузнечно-прессового и прокатного оборудования специализируются в Украине такие предприятия как «Днепротяжмаш», ОАО «Завод «Днепропресс»» (г. Днепропетровск), «Новокраматорский машиностроительный завод» (г. Новокраматорск) и другие. Возможно приобретение оборудования и за границей.

Для оценки объемов выпуска продукции с использованием печей различной емкости расчеты проведем для стандартного листа с размерами 4800×1750 мм различной толщины с учетом разнообразия полуфабрикатов, выпускаемых из деформируемых сплавов. В расчет берем лист с размерами 4800×2100 мм с учетом увеличения ширины листа на 150-300 мм из-за возможности образования трещин в направлении, перпендикулярном направлению прокатки. Для определения возможности выпуска заготовок для производства профилей и труб определим длину профилей с площадью поперечного сечения от 1 см² до 50000 см². При расчетах примем, что одна пятая часть слитка непригодна для последующей обработки из-за усадочной раковины, пористости и других дефектов.

Наиболее широко на отечественных машиностроительных заводах используются печи с емкостью по алюминию 120 кг, 250 кг, 500-750 кг, 1000-1250 кг. Печи большей емкости (2000 кг и более) встречаются относительно редко. Большинство крупных машиностроительных заводов имеют мощность литейных цехов в пределах от 1500 до 6000 тонн алюминиевых сплавов в год. Печи сопротивления, серийно выпускаемые промышленностью, позволяют получить одну

плавку в два – четыре часа, для сплавов сложного состава и с повышенными требованиями по чистоте, в том числе деформируемых, шесть часов, с учетом загрузки печи и разлива расплава – одна плавка в смену, следовательно, максимум три плавки в сутки. Печи с индукционным нагревом обеспечивают одну плавку в два часа, то есть максимально двенадцать плавок в сутки, но они наиболее эффективны при непрерывном режиме работы. Пламенные печи зачастую имеют большую емкость, чем электрические (от 2 до 30 тонн алюминия), их минимальная загрузка соответственно составляет от 1,0 до 1,5 тонн алюминия и более.

Определение объемов производства сплавов с использованием плавильных печей литейных цехов проведем из расчета следующих годовых фондов времени работы оборудования: односменная работа – 1985 часов, двухсменная – 3890 часов, трехсменная – 5840 часов. Максимальный коэффициент загрузки литейных печей – 0,9. В зависимости от номенклатуры выпускаемых сплавов и потребности в каждом из них коэффициент загрузки может уменьшаться.

При расчетах примем, что для дальнейшей обработки давлением используется 80% слитка. Годовой выпуск металла определим для наиболее распространенных на машиностроительных заводах печей сопротивления.

Таким образом, при использовании печи сопротивления емкостью 1250 кг по алюминию масса слитка, подвергаемого последующей обработке давлением, составляет около 1000 кг. Такие слитки целесообразно использовать для получения листов толщиной 30-35 мм и более, пресованных профилей большого сечения, оребренных панелей, крупногабаритных поковок. При трехсменном режиме работы такой печи возможно получить около 650-660 тонн металла в год.

При максимальной загрузке в печь сопротивления 750 кг алюминия масса слитка составит около 600 кг. Такие слитки подходят для единичного и мелкосерийного производства профилей большого сечения, листов толщиной 18-22 мм, поковок. При трехсменном режиме работы можно получить до 390–400 тонн металла в год.

Печь сопротивления емкостью 250 кг по алюминию позволяет получать слитки массой около 200 кг. Такие слитки целесообразно использовать для получения тонких листов (толщина до 6-7 мм), профилей с малой площадью поперечного сечения, труб с малой толщиной стенок, поковок. При трехсменном режиме работы в ней можно выплавить до 130-135 тонн металла в год.

Данные об объемах выпуска сплавов для печей различной емкости при различных значениях коэффициента загрузки приведены в таблице 1. Данные о толщине листа стандартного размера и длине профилей с различной площадью поперечного сечения приведены в таблицах 2 и 3. Приведенные значения массы слитков и годовых объемов выплавки сплавов приблизительные, так как плотность многих алюминиевых сплавов отличается от плотности чистого алюминия. Кроме того, в достаточно широких пределах может изменяться продолжительность плавки. Указанные типоразмеры полуфабрикатов также носят ориентировочный характер, так как из крупных слитков можно сделать полуфабрикаты с размерами меньше максимально допустимых. Эти данные необходимы для рационального распределения работ между печами и определения предельных возможностей предприятия, располагающего тем или иным оборудованием.

Таблица 1

Годовой объем выпуска металла (алюминий) в печах различной емкости, тонны

Масса слитка, кг	Режим работы (годовой фонд времени работы оборудования)	Расчетное количество плавов	Коэффициент загрузки оборудования выплавкой деформируемых сплавов			
			K=0,9	K=0,6	K=0,3	K=0,1
1000	Трехсменный (5840 часов)	657	657	438	219	73
600			394	262	131	43
200			131	87	43	14
1000	Двухсменный (3890 часов)	447	447	298	149	49
600			268	178	89	29
200			89	59	29	9
1000	Односменный (1985 часов)	223	223	148	74	24
600			133	88	44	14
200			44	29	14	4

Таблица 2

Толщина листа в мм при различной массе слитка

№	Масса слитка (алюминий), кг	Толщина листа (алюминий), мм
1	1000	37
2	600	22
3	200	7

Примечание.

Толщина листа округлена до ближайшего целого меньшего значения. При расчетах использовались размеры листа 4800×2100 мм.

Таблица 3

Длина профиля в м, получаемого из слитка указанной массы

№	Площадь поперечного сечения профиля, см ²	Масса слитка (алюминий), кг		
		1000	600	200
1	1	3703,700	2222,220	740, 740
2	5	740,740	444,440	148,140
3	10	370,370	222,222	74,070
4	50	74,070	44,440	14,810
5	100	37,037	22,222	7,407
6	500	7,407	4,444	1,481
7	1000	3,703	2,222	0,740
8	5000	0,740	0,444	0,148
9	10000	0,370	0,222	0,074
10	50000	0,07	0,004	0,014

Как видно из таблицы 3 в зависимости от массы слитка при площади поперечного сечения от 1000 до 10000 см² все размеры заготовки соизмеримы, то есть имеет смысл получать поковки, а не пресованные профили, при площади сечения 10000-50000 см² профиль превращается в лист или плиту (панель).

Суммарная масса выплавленных алюминиевых сплавов будет существенно уменьшаться с увеличением их номенклатуры, так как

при переходе от выпуска одного сплава к выпуску другого понадобятся промывочные плавки и другие мероприятия.

Таким образом, имеющиеся на отечественных машиностроительных заводах плавильные печи позволяют обеспечить выпуск слитков металла, пригодных для изготовления полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов большинства типоразмеров. Задействование мощностей литейных цехов даже одного-двух заводов позволяет удовлетворить потребности Украины в заготовках для производства таких полуфабрикатов.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

На основании изложенного выше можно сделать вывод о том, что использование простаивающего оборудования литейных цехов для выплавки деформируемых алюминиевых сплавов позволяет обновить применяемый на отечественных предприятиях разных отраслей комплекс материалов и технологий, обеспечить наиболее высокотехнологичные отрасли экономики Украины нужными им материалами отечественного производства. В условиях мелкосерийного и даже единичного машиностроительного производства относительно малые мощности литейных плавильных печей будут достаточно полно загружены выпуском малых партий слитков различных сплавов. В комплексе это будет способствовать росту конкурентоспособности отечественной продукции как на внутреннем, так и на мировом рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данченко В.Н., Миленин А.А., Головки А.Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов. теория и технология. – днепропетровск: “Системные технологии”, 2002. – 448 с.
2. Авіаційно-космічні матеріали та технології [Текст]/ В.О. Богуслаєв [та ін.] – Запоріжжя: Вид-во ВАТ “Мотор Січ”, 2009. – 383 с.
3. Скрыбин С.А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием. – К.: КВІЦ, 2004. – 346 с.: ил.
4. Е.С. Переверзев Синергетическая трактовка комплексной энергетической обработки сплава АМг6М./ Е.С. Переверзев, Д.Г. Борщевская, В.Д. Рябчий, С.П. Федий //Матеріали конференції “Математичні проблеми технічної механіки-2005. Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ. – 2005., с. 119.

Н.Н. Карабутов, П.Н. Карабутов

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Предложен метод структурной идентификации статических объектов, содержащих гистерезисные нелинейности. Введены структуры, позволяющие принимать решение о виде и параметрах нелинейности.

Ключевые слова. Объект, идентификация, структура, гистерезис.

1. Введение

Методам идентификации динамических систем с гистерезисом уделяется много внимания. Для структурной идентификации таких объектов используются различные подходы и методы [1-4]. Во многих работах задача структурной идентификации решается на заданном классе гистерезисных нелинейностей и сводится к параметрической. Для оценки параметров часто применяются статические модели [4, 5, 6 и др.].

Проведенный анализ публикаций показывает, что большинство работ посвящено параметрической идентификации динамических систем, в которых гистерезис описывается нелинейным дифференциальным уравнением Боука-Вена. Для оценки параметров гистерезиса применяются известные методы идентификации и их модификации. Задача структурной идентификации модели Боука-Вена в сущности сводится к параметрической оценке так называемых структурных параметров. Ряд работ посвящен применению регрессионных моделей для идентификации объектов с нелинейностями, описываемыми статическими моделями гистерезиса и насыщения.

В условиях априорной неопределенности, когда отсутствует информация о структуре нелинейности, обычно используются различные методы аппроксимации, позволяющие получать усредненное описание гистерезиса. Указанные подходы не позволяют предложить адекватные математические технологии, которые обеспечивали бы формирование подмножества из имеющегося информационного мно-

жества данных, на основе анализа которого можно было сделать заключение о структуре исследуемой нелинейности. Следует отметить, что большой класс технических и экономических систем может описываться статическими моделями гистерезиса, идентификации которых уделялось недостаточно внимания. Не исследовался вопрос идентификации гистерезисных систем на классе нерегулярных входов. Такая задача имеет свои особенности и проблемы.

Ниже предпринимается попытка структурной идентификации статических объектов на классе гистерезисных нелинейностей $\mathcal{F}_h$ в условиях неопределенности. Предлагаемые методы основаны на анализе структуры $\mathcal{S}_{k,e}^v$. Развиваемый подход базируется на множественно-информационных принципах. Сначала рассматривается подкласс $\mathcal{F}_{sat} \subset \mathcal{F}_h$ функций с насыщением. Затем исследуется более общий случай гистерезисных нелинейностей, заданных на классе $\mathcal{F}_h$.

2. Идентификация структуры на классе $\mathcal{F}_{sat}$

2.1. Постановка задачи

Рассматривается объект

$$y_n = A^T U_n + b f(u_{i,n}) + \xi_n, \quad (2.1)$$

где $y_n \in R$, $U_n \in R^m$ — соответственно выход и вход объекта, $A \in R^m$ — вектор параметров, $b \in R$, n — дискретное время, $\xi_n \in R$ — возмущение, $|\xi_n| \leq \infty$, $f(u_{i,n}) \in R$ — функция гистерезиса, заданная на классе статических моделей. Элементы $u_{i,n} \in U_n$ представляют собой ограниченные нерегулярные (немонотонные) функции.

Для (2.1) известна измерительная информация

$$I_o(N) = \{y_n, U_n, n \in [0, N], N < \infty\}.$$

Необходимо на основе анализа множества I_o оценить структуру функции $f(u_{i,n})$.

Рассмотрим сначала случай, когда $f(u_{i,n}) = f_s(u_{i,n})$ является функцией насыщения ($f_s(u_{i,n}) \in \mathcal{F}_{sat} \subset \mathcal{F}_h$) вида

$$\text{sat}(u_{i,n}) = \begin{cases} \beta, & u_{i,n} \geq \beta, \\ u_{i,n}, & \alpha < u_{i,n} < \beta, \\ \alpha, & u_{i,n} \leq \alpha, \end{cases} \quad (2.2)$$

где α, β — некоторые числа. В технической литературе функцию (2.2) также называют упором [1].

2.2. $S_{k,e}^v$ -структура системы идентификации

Для решения задачи структурной идентификации воспользуемся подходом, предложенным в [7], и статическими структурами, введенными в [8] и отражающими состояние нелинейной системы идентификации.

Построим вспомогательное множество, которое содержит информацию о функции $f_s(u_{i,n})$ в (2.1). Сформируем переменную $s_n = I^T U_n$, где $I \in R^m$ — единичный вектор, и применим модель $\hat{y}_{s,n} = \hat{a}_s s_n$. Найдем параметр $\hat{a}_s \in R$ из условия

$$\arg \min_{\hat{a}_s} (\hat{y}_{s,n} - y_n)^2 = \hat{a}_s^*.$$

Обозначим через $e_n = \hat{y}_{s,n} - y_n$ ошибку, которая содержит данные о нелинейной функции $f_s(u_{i,n})$. Сформируем множество $I_e = \{e_n, U_n, n \in N\}$.

Теперь задача свелась к идентификации функции $f_s(u_{i,n})$ на множестве I_e . В качестве элемента $u_{i,n} \in U_n$, являющегося аргументом функции $\text{sat}(u_{i,n})$, будем использовать переменную, которая обеспечивает максимальное значение коэффициента взаимной корреляции r_{e,u_i} .

Так как в большинстве случаев возмущение (помеха) ξ_n и $u_{i,n}$ носят нерегулярный характер, то построение информационного портрета $\Gamma_e : \{u_{i,n}\} \times \{e_n\}$ (см. рис. 1) не позволяет вскрыть структуру нелинейности $\text{sat}(u_{i,n})$. Как показано в [7], в указанных условиях анализ структурных свойств системы (2.1), (2.2) лучше всего выполнять, используя в качестве входной переменной коэффициент структурности: $k_{e,u_i,n} = k_s(e, u_i, n) = e_n / u_{i,n}$. Сформируем множество

$$I_k = I_k(e, k) = \{e_n, k_{e,u_i,n}, n \in J_N = [0, N]\}.$$

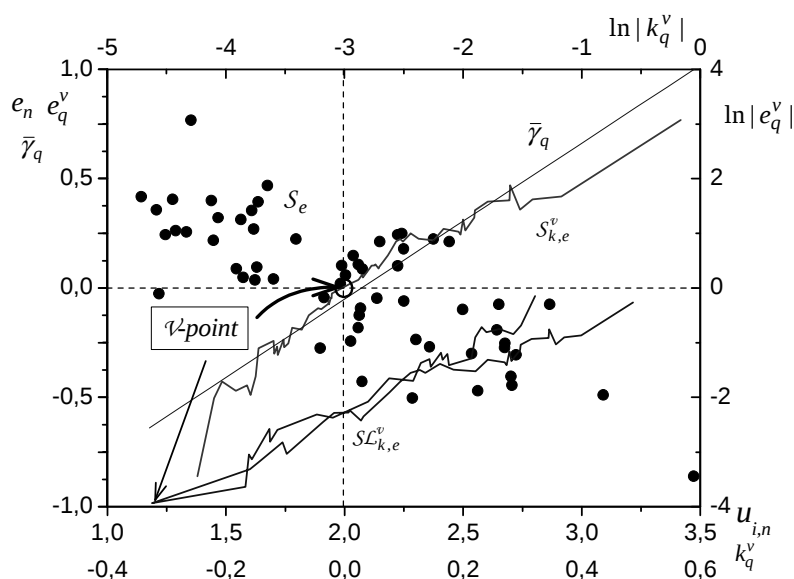


Рисунок 1 - Информационные портреты системы (2.1), (2.2)

на множествах I_e, I_k^v

На J_N упорядочим значения $k_{e,u_i,n}$ по возрастанию, то есть построим вариационный ряд. В результате получим множество

$$I_k^v = I_k^v(e, k) = \{e_q^v, k_q^v, q \in J_N^v\}$$

где $k_q^v = k_s(e, u_i, q)$, $q \in J_N^v = [0, N]$.

Множеству I_k^v соответствует информационный портрет, заданный отображением $\Gamma_{e,k}^v : \{k_q^v\} \times \{e_q^v\}$. Пример информационных портретов $\Gamma_e, \Gamma_{e,k}^v$ для системы (2.1), (2.2) с $A \in R^3$ показан на рис. 1. Из рис. 1 видно, что отображениям $\Gamma_e, \Gamma_{e,k}^v$ на евклидовой плоскости соответствуют структуры $S_e, S_{k,e}^v$, причем структура S_e является неинформативной.

Свойства $S_{k,e}^v$ -структуры исследованы в [8]. Заметим, что рассматриваемая структура содержит особую точку V.

2.3. Идентификация структуры $f_s(u_{i,q})$

Воспользуемся анализом $S_{k,e}^v$ для оценки структурных параметров функции $f_s(u_{i,q}) \in F_{sat}$. Для принятия решения о нелинейности структуры $S_{k,e}^v$ найдем секущую [7, 8]

$$\bar{\gamma}_q = \bar{\gamma}(e_q^v, k_q^v) = a^v k_q^v + b^v.$$

Выделим фрагмент $S_\alpha \in S_{k,e}^v$, который проходит параллельно $\bar{\gamma}_q$. Ему соответствует множество $I_\alpha = \{e_q^v, k_q^v, q \in J_\alpha \subset J_N^v\}$, на котором оценивается параметр α . В силу построения множества I_k^v фрагмент S_α расположен в правой части $S_{k,e}^v$. На множестве I_α , применяя регрессионную модель (секущую) $\bar{\gamma}_{\alpha,q} = \bar{\gamma}_\alpha(k_q^v) = a_\alpha k_q^v + b_\alpha$, с помощью метода наименьших квадратов находим параметры a_α, b_α и полагаем $\hat{\alpha} = a_\alpha$. Итак, оценка параметра α в (2.2) получена.

Замечание. Наличие фрагмента S_α является отличительным признаком структуры $S_{k,e}^v$ для функций класса F_h .

Более тонкого подхода требует оценка параметра β в (2.2). Непосредственное выделение соответствующего подмножества (фрагмента S_β) из структуры $S_{k,e}^v$ сопряжено с определенными трудностями, так как отображение $\Gamma_{e,k}^v$ часто носит нерегулярный характер и кроме того на некотором интервале $J_\beta \subset J$ $u_{i,q}$ и $f_s(u_{i,q})$ совпадают. Поэтому для формирования информационного множества, содержащего требуемые данные, необходимо привлекать косвенные критерии. Введем показатель [9]

$$\mu_{k_{s,q}} = \frac{\Delta k_q^v}{k_q^v} = \frac{k_{q+1}^v - k_q^v}{k_q^v}, \quad (2.4)$$

который характеризует относительную скорость изменения коэффициента k_q^v . Анализ изменения $\mu_{k_{s,q}}$ позволяет определить момент смены производной k_q^v , то есть начало перехода системы в режим насыщения.

Для определения границ подмножества, содержащего информацию о параметре β , поступим следующим образом. Исходя из изменения показателя $\mu_{k_{s,q}}$, сформируем множество $I_\beta = \{e_q^v, k_q^v, q \in J_\beta \subset J_N^v\}$, на котором $\mu_{k_{s,q}}$ носит стационарный характер. Пользуясь методом наименьших квадратов, на I_β найдем секущую $S_{k,e}^v$ $\bar{\gamma}_{\beta,q} = \bar{\gamma}(e_q^v, k_q^v) = a_\beta k_q^v + b_\beta$ и будем считать интервал $J_\beta \subset J$ идентифицирующим, если на нем квадрат коэффициента взаимной корреля-

ции удовлетворяет условию $r_{e^v, k^v}^2 \geq \varepsilon_\beta$, где $\varepsilon_\beta > 0$ — некоторое заданное число. Если указанное условие нарушается, то границы множества J_β можно изменить. Учитывая, что a_β является оценкой входа $u_{i,n}$, получаем $\hat{\beta} = a_\beta$.

Не менее важным является вопрос принадлежности полученной структуры функции $f_s(u_{i,n})$ классу $\mathcal{F}_{sat}$ гистерезисных кривых. Для описания гистерезисных кривых вводятся следующие параметры [1]: диаметр и дистанция. Алгоритм их оценки изложен в [9].

Немаловажное значение в системах идентификации играет определение области, которой принадлежит функция $f_s(u_{i,n})$. Эта проблема в условиях неопределенности в задачах идентификации не ставилась и не рассматривалась. Применительно к рассматриваемому классу можно воспользоваться подходом, предложенным в [7].

Для принятия решения о принадлежности функции $f_s(u_{i,n})$ классу $\mathcal{F}_{sat}$ следует применить теорему 3 из [9].

Рассмотрим теперь более общий случай, когда $f(u_{i,n}) = f_h(u_{i,n}) \in \mathcal{F}_h$:

$$f_h(u_{i,n}) = \begin{cases} \left. \begin{array}{l} \beta, u_{i,n} \geq \beta_t, \\ u_{i,n}, \alpha_t < u_{i,n} < \beta_t, \\ \alpha, u_{i,n} \leq \alpha_t, \end{array} \right\} \Delta u_{i,n} > 0, \\ \left. \begin{array}{l} \beta, u_{i,n} + d \geq \beta_b, \\ u_{i,n}, \alpha_b < u_{i,n} + d < \beta_b, \\ \alpha, u_{i,n} + d \leq \alpha_b, \end{array} \right\} \Delta u_{i,n} \leq 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

где $(\alpha_b, \alpha_t) < \infty$, $(\beta_b, \beta_t) < \infty$, $d > 0$.

3. Идентификация структуры системы на классе $\mathcal{F}_h$

Метод структурной идентификации основан на развитии и обобщении идей, изложенных в разделе 2, и сводится к определению вида функции f_h и ее параметров. Для этого анализируется разность $\Delta u_{i,n} = u_{i,n+1} - u_{i,n}$ и множество I_e разбивается на два: $I_e = I_{e,+} \cup I_{e,-}$ — соответственно $\forall (\Delta u_{i,n} > 0)$ и $\forall (\Delta u_{i,n} < 0)$. На каждом из подмножеств $I_{e,+}, I_{e,-}$ ищется коэффициент структурности и строится отображение $\Gamma_{k,\pm}^v : \{k_{q,-}^v\} \times \{k_{q,+}^v\} \rightarrow \{k_{q,\pm}^v\}$. $\Gamma_{k,\pm}^v$ соответствует структура $\mathcal{SK}_{k,\pm}^v$.

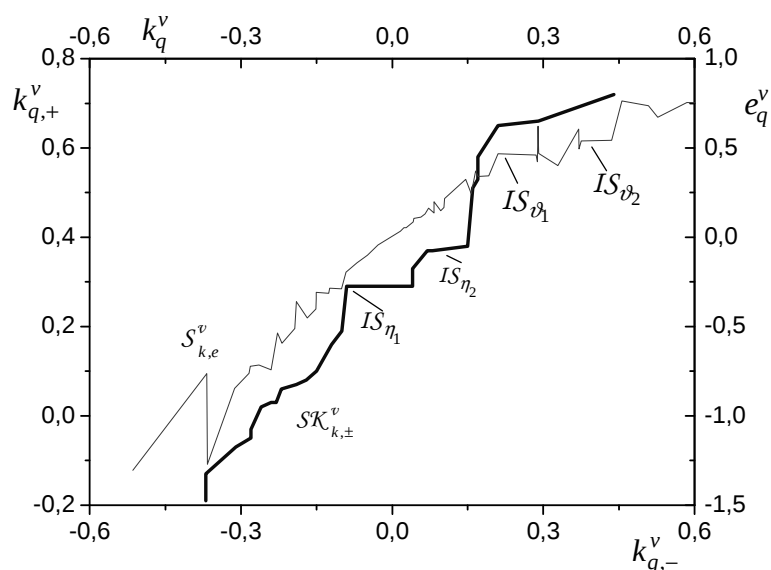


Рисунок 2 - Пример $SK_{k,\pm}^v$ структуры для функции f_h

Эта структура существенно отличается от $S_{k,e}^v$ (см. рис. 2) и позволяет с помощью метода секущих найти необходимые параметры $\alpha_b, \alpha_t, \beta_b, \beta_t$. После определения структурных параметров применяется процедура упорядочения на классе нерегулярных входов и получается искомая оценка функции $f_h(u_{i,n})$.

Замечание. 1. Признаком принадлежности $f_h(u_{i,n}) \in \mathcal{F}_h$ является наличие так называемых островков IS_η уровня η у структуры $SK_{k,\pm}^v$. 2. Островки IS_η соответствуют областям насыщения функции $f_h(u_{i,n})$. 3. Островки IS_{ϑ} может содержать и структура $S_{k,e}^v$ (см. рис. 2), но их выделение и содержательная интерпретация требует проведения дополнительного исследования.

4. Заключение

Разработан метод оценки параметров функции насыщения на основе анализа структуры $S_{k,e}^v$ в условиях неопределенности и нерегулярных входов. Дано развитие предложенного подхода на элементы, описываемые функцией гистерезиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красносельский М. А., Покровский А. В. Системы с гистерезисом. – М.: Наука, 1983. – 272 с.
2. Coleman B. D., Hodgdon M. L. A constitutive relation for rate-independent hysteresis in ferromagnetically soft materials // International Journal of Engineering Science. – 1986. – No. 24. – P. 897-919.
3. Ikhoulane F., Rodellar J. Systems with hysteresis: analysis, identification and control using the Bouc-Wen model. – Wiley: England, 2007. – 242 p.
4. Ikhoulane F., Manosa V., Rodellar J. Adaptive backstepping control of a class of hysteretic systems / Editor R. C. Smith // Smart Structures and Materials 2003. Modeling, Signal Processing, and Control. Proceedings of SPIE. – 2003. – Vol. 5049. – P. 686-695.
5. Tomizuka M., Chung-Bang Y., Giurgiutiu V. Linear and nonlinear structural identifications using the support vector regression // Proceedings of SPIE. – 2006. – Vol. 6174. 11 p.
6. Liu J., Xia K., Zhu C. Online prediction method for structural vibration based on neural networks // Proceedings of the 2009 International Workshop on Information Security and Application (IWISA 2009). Qingdao, China, November 21-22. – 2009. – P. 437-440.
7. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация систем. Анализа информационных структур. – М.: УРСС/ Издат. дом "Либроком", 2009. – 384 с.
8. Karabutov N.N. Structures, fields and methods of identification of nonlinear static systems in the conditions of uncertainty // Intelligent Control and Automation. – 2010. – Vol. 1. – No. 2. – P. 59-67.
9. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация статических систем с насыщением // Измерительная техника. – 2011. – № 2. – С. 20-24.

Получено 19.01.2011г.

Л.М. Любчик, Ю.В. Конохова

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КАПИТАЛА NON-LIFE СТРАХОВЩИКА С УЧЕТОМ ЕГО ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Анотація. Розроблено модель, що описує процес формування капіталу non-life страховика, що є результатом як його страхової, так і інвестиційної діяльності. У моделі знайшли виображення вирахування компанії, що можуть підвищити обсяг страхових внесків, а також і виплати прибутків господарям компанії.

Введение

Страхование сегодня является активно развивающимся экономическим институтом, что предполагает развитие обеспечивающего инструментария – создаются новые виды программного обеспечения страховой деятельности, системы поддержки принятия решений, системы управления страховой деятельностью и др., что требует в первую очередь разработки методов моделирования деятельности страховых компаний. Наиболее распространенными моделями функционирования страховых компаний являются модели формирования капитала страховщика, позволяющие оценить или прогнозировать его финансовую устойчивость. Сегодня, говоря о финансовой устойчивости страховых компаний, следует учитывать, что требования надзорных органов к объему и структуре страхового капитала ниже, чем требования, предъявляемые владельцами компании [1]. С точки зрения надзорных органов, средства страховщика должны позволять полностью удовлетворить иски к компании в любой момент времени. Дополнительные требования владельцев страховщика заключаются в том, что после удовлетворения исков компания должна остаться в собственности ее владельцев и быть в работоспособном состоянии.

В настоящей статье предложена математическая модель формирования капитала non-life страховой компании (то есть, компании, страхующей имущественные риски, риски ответственности или предпринимательские риски). Деятельность страховых компаний non-life

при всем многообразии различных страхуемых рисков существенно отличается от деятельности life-страховщиков. Эти различия заключаются в краткосрочном характере заключаемых договоров, и, как следствие - необходимой высокой ликвидности страховых фондов и раздельном управлении резервными и собственными средствами компании с целью получения дополнительного инвестиционного дохода. Еще одним различием следует считать неопределенность суммы иска к компании и количества исков. Все эти особенности необходимо учитывать при моделировании функционирования компании.

В силу описанных выше особенностей функционирования non-life-компаний, процесс формирования капитала страховщика, может быть представлен как совокупность двух процессов - формирования страховых резервов и формирования собственных средств.

Постановка задачи

Примем, что весь период моделирования деятельности страховщика разделен на учетные периоды t , длиной в квартал, что обусловлено характером финансовой отчетности. Кроме того, положим, что страховой портфель компании в начальный момент времени является однородным и достаточно сформированным, то есть содержит $N(t)$ договоров, каждый из которых заключен на сумму $S_i(t)$, $i = 0 \dots N(t)$. Интенсивность заключения договоров $\lambda(t)$ определена размерами страхового тарифа $T(t)$ и эффективностью неценовых методов привлечения клиентов, которые учтены в модели как расходы на расширение бизнеса $W(t)$. Кроме того, количество договоров, заключенных в периоде t , зависит от общего количества рисков на рынке N^* и интенсивности заключения договоров в прошедшем этапе $\lambda(t-1)$, так что $N(t) = f^N(N^*, \lambda(t-1), T(t), W(t))$.

Размеры страховых сумм, размер страхового тарифа и количество договоров определяют поток страховых платежей, поступивших в компанию за рассматриваемый период - $P(t) = f^P(\bar{S}, N(t), T(t))$.

Из поступивших платежей страховщик обязан уплатить налог на страховую деятельность ($b(t)$), а остальные средства направить на формирование страховых резервов $Z(t)$, которые страховщик размещает в объекты, оговоренные законодательством [2].

За период t в компанию поступает $M(t)$ исков, каждый из которых - на сумму $X(t)$. Естественно, что интенсивность поступления

исков $\gamma(t)$ зависит от вероятности наступления страхового события q и ограничено объемом страхового портфеля $\hat{N}(t)$, $M(t) = f^M(\hat{N}(t), q)$. Убыточность страхового события ξ вместе с количеством исков определяет поток исков, поступивших к компании в течение периода $X(t) = f^X(M(t), \sum_{\tau=t-3}^t S(\tau), \xi)$.

Страховые иски, поступившие к компании, должны быть удовлетворены в конце периода поступления. Если размеров резерва будет недостаточно для удовлетворения поступивших исков, в конце периода поступления страховщик удовлетворяет иски в размере, соответствующем объему резервов, а оставшуюся часть $X^-(t)$ должен удовлетворить в течение года. Для этого в следующих периодах компания направляет часть собственных свободных средств в объеме $R(t)$ на пополнение резервов. Если компания смогла удовлетворить все иски, поступившие в периоде, то часть оставшихся резервов $P^+(t)$ переходит в собственность компании.

Что касается собственных средств страховщика $A(t)$, то они представляют собой сумму средств, вложенных в компанию владельцами $D^+(t)$, заработанных премий $P^+(t)$ и дохода от инвестиционной деятельности $I(t)$. Инвестиционный доход страховой компании зависит от суммы вложений на всех предыдущих периодах $\sum_{\tau=0}^{t-1} Q_\tau$ (здесь $Q(t)$ - объем инвестирования в периоде t), количества существующих на рынке объектов инвестирования H и их доходности d_h , $h = 0, \dots, H$, то есть $I(t) = f^I\left(\sum_{\tau=0}^{t-1} Q_\tau, d_h, H\right)$.

Как правило, собственные средства не хранят на счетах, и после уплаты налогов $B(t)$ их распределяют по таким направлениям как инвестирование $Q(t)$, выплата дивидендов владельцам компании $D(t)$, расходы на расширение бизнеса $W(t)$ или пополнение страховых резервов $R(t)$. При этом в силу специфики страхового бизнеса первоочередными являются расходы именно на пополнение резервов. Инвестируемые средства и средства на расширение бизнеса предполагают получение дополнительного дохода от их размещения (в первом

случае – явного, а во втором - опосредовано). Положим, что доход от единоразового размещения средств будет поступать в компанию в течение многих будущих периодах.

Модель формирования капитала страховщика

Таким образом, для расчета резервного капитала страховой компании можно записать следующее выражение

$$Z(t) = P^-(t-1) + R(t-1) + P(t) - b(t) - X(t), \quad (1)$$

где $P^-(t-1)$ - незаработанные премии страховщика. Так как в работе принято, что длина учетного периода равна кварталу, то для расчета незаработанных премий удобно применить метод «1/8» [2]. Это предполагает, что $P^-(t) = \max\{0.75 \cdot (P(t) - X(t)); 0\}$,

$R(t-1)$ - часть собственных средств компании, которую она направляет на пополнение резервов,

$R(t) = \min\{X^-(t-1) - Z(t-1); A(t) - B(t)\}$, здесь $(X^-(t-1) - Z(t-1))$ - сумма долга страховщика перед выгодоприобретателями,

$P(t)$ - сумма страховых платежей, полученных в течение рассматриваемого периода

$$P(t) = \sum_{i=0}^{N(t)} P_i(t) = T(t) \cdot \sum_{i=0}^{N(t)} S_i(t). \quad (2)$$

$P_i(t) = S_i(t) \cdot T(t)$ - страховой платеж по договору страхования i , заключенному в периоде t - единичный страховой платеж,

$T(t)$ - тариф страхования, принятый в указанном периоде,

$S_i(t)$ - страховая сумма по одному договору страхования,

$N(t)$ - количество договоров страхования, заключенных за период,

$b(t)$ - сумма налога на страховую деятельность, $b(t) = \eta_1 \cdot P(t)$ при ставке налога на страховую деятельность η_1 ,

$X(t)$ - суммарная величина исков, поступивших к компании за период

$$X(t) = \sum_{j=0}^{M(t)} X_j(t) = \sum_{i=0}^{N(t)} S_i(t) \cdot \xi_i(t), \quad (3)$$

$M(t)$ - количество исков предъявленных к компании за период,

$X_i(t)$ - размер одного страхового иска,

$\xi_i(t)$, $0 \leq \xi_i(t) \leq 1$ - показатель убыточности страхового случая, который характеризует степень разрушения одного объекта страхования.

Расчет изменения собственных средств страховщика может быть произведен по формуле

$$A(t) = A^-(t-1) + P^+(t-1) + I(t), \quad (4)$$

где $A^-(t-1)$ - собственные средства страховщика после всех необходимых отчислений, производимых компанией

$$A^-(t) = A(t) - R(t) - B(t) - Q(t) - W(t) - D(t), \quad (5)$$

$B(t)$ - сумма налога на нестраховую деятельность и хозяйственные расходы,

$Q(t)$ - объем инвестируемых средств,

$D(t)$ - выплата дивидендов владельцам компании; в данной работе сумму дивидендов предлагается рассчитывать по остаточному принципу, то есть $D(t) = \max\{A(t) - B(t) - R(t) - W(t) - Q(t); 0\}$,

$W(t)$ - расходы на расширение бизнеса,

$P^+(t)$ - сумма заработанных премий, которая представляет собой часть разницы между собранными премиями и выплаченными возмещениями, в данном случае (в рамках известного метода «1/8») - четвертую часть $P^+(t) = \max\{0, 25 \cdot (Z(t-1) - X(t-1)); 0\}$,

$I(t)$ - доход от инвестирования, полученный в рассматриваемом периоде

$$I(t) = \sum_{\tau=0}^{t-1} \sum_{h=1}^H Q(\tau) \cdot \left(1 + \frac{d_h(\tau) - g}{1 + g}\right)^{t-\tau}, \quad (6)$$

H - количество объектов инвестирования,

$d_h(t)$ - доходность объекта инвестирования h ,

g - уровень инфляции.

Анализ финансовой устойчивости страховщика

В конце учетного периода руководство страховой компании проводит оценку эффективности управления капиталом. Сегодня для обеспечения собственной платежеспособности, страховщик должен обладать необходимым запасом платежеспособности SCR [3], который согласно нормативу Еврокомиссии «Solvency II» [4] в сумме со стра-

ховыми резервами должен быть достаточным для погашения иска любого размера с вероятностью 95%.

Проблема оценки финансовой устойчивости страховщика связана с тем, что капитал компании формируется случайными потоками премий и платежей, а следовательно, сам является случайной величиной, значит, при построении модели имеет смысл анализировать его ожидаемое значение. Пусть X^* - такой размер совокупного страхового иска компании, который может быть превышен с вероятностью 5%, а X^{**} - ожидаемый размер страхового иска ($E[X] = X^{**}$). В этом случае, капитал страховой компании, финансовое положение которой можно назвать абсолютно устойчивым должен превышать объем X^* . Если капитал компании не позволяет удовлетворить совокупный страховой иск такого размера, то считается, что ее финансовое положение недостаточно устойчиво. Если капитал страховщика в определенный момент окажется меньше значения X^{**} , то можно говорить о неплатежеспособности компании. В случае обнаружения факта недостаточной финансовой устойчивости, использование математической модели поможет страховой компании оценить размеры резервов и политику их пополнения и скорректировать свою инвестиционную политику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Максим Борисович. Экономико-математическая модель платежеспособности страховой компании: дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.13 / Зайцев Максим Борисович. - СПб, 2002. - 199 с. - Библиогр.: с. 176-180.
2. Верховна Рада України/ офіційний вебсайт [Електронний ресурс]: інформація про склад, діяльність Верховної Ради та нормативні акти країни: Розпорядження Державної комісії з регулювання ринків фінансових послуг України „Про затвердження Положення про критерії та нормативи достатності капіталу, диверсифікованості та якості активів страховика” N 3104 від 17.12.2004. Режим доступу до розпорядження: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0019-05>.
3. A. Sandström. Solvency: models, assessment and regulation/ by Arne Sandström. - New York: Taylor & Francis Group, 2006. - 416 p.
4. Знай страхование [Электронный ресурс]: Основная информация о страховании, тексты учебников, нормативных актов, авторефератов диссертаций на страховую тематику: Директива 2002/13/ЕС Европейского Парламента и Совета Европы от 5 марта 2002 г. о внесении изменений в Директиву Совета Европы 73/239/ЕЕС в отношении требований к марже платежеспособности, устанавливаемых к страховым организациям, специализирующимся на видах страхования, иных, чем страхование жизни. Режим доступа к документу: <http://www.znay.ru/law/eec/eec2002-13.shtml>.

Получено 18.01.2011г.

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ

Аннотация. Рассмотрены возможность применения вероятностных нейронных сетей для классификации сигналов дефектоскопии. Обученная нейронная сеть промоделирована на проверочном множестве зашумленных сигналов.

Ключевые слова: вероятностные нейронные сети, классификация образов, ядерная функция.

Введение. Задача распознавания несплошностей и принятие решения о годности изделий до недавних пор целиком была возложена на человека, осуществляющего контроль изделий. Существуют характерные особенности формы сигнала от дефектов различного типа. Опытные специалисты часто используют эту информацию для принятия решения о браке – распознают сигналы прибора НК.

Нейросетевые методы [1, 2], активно развивающиеся в последнее время, обладают универсальностью, адаптивными свойствами и обеспечивают высокую эффективность распознавания. Но, в свою очередь, характеризуются такими недостатками, как длительность и сложность процесса обучения, сложность подбора параметров нейронной сети для уверенного решения задачи, логическая непрозрачность механизма принятия решений.

Перспективными отмечаются радиально-базисные структуры, отличающиеся высокой скоростью обучения и универсальными аппроксимирующими возможностями [3, 4]. К этим структурам относятся и вероятностные нейронные сети, которые имеют ряд существенных преимуществ и используются в различных задачах классификации образов.

Целью данной работы является исследование возможности использования вероятностных нейронных сетей в задачах классификации сигналов дефектоскопии в режиме реального времени.

Основные положения. При проведении неразрушающего контроля композитных материалов получаются сигналы различной формы. Форма сигнала дает представление о характере дефекта. При этом следует учитывать сложный рельеф поверхности композитных материалов. Из-за шероховатости поверхности материалов возникают шумы различной интенсивности. Возникает проблема распознать форму сигнала, и, соответственно, вид дефекта.

Применение различных методов распознавания образов приводит к классификации объектов по нескольким классам. С этой целью применяется аппарат вероятностных нейронных сетей (PNN – Probabilistic Neural Network). Такие сети представляют собой параллельную реализацию статистических методов Байеса. В PNN образцы классифицируются на основе оценок их близости к соседним образцам. При этом используется ряд критериев статистических методов, на основе которых принимается решение о том, к какому классу отнести еще не классифицированный образец. Формальным правилом при классификации является то, что класс с более плотным распределением в области неизвестного образца, а также с более высокой априорной вероятностью и с более высокой ценой ошибки классификации, будет иметь преимущество по сравнению с другими классами. Для оценки функции плотности распределения вероятностей используются непараметрические методы оценки. Как правило, применяют метод Парцена, в соответствии с которым для каждого учебного образца рассматривается некоторая весовая функция, которую еще называют функцией потенциала или ядра. Чаще всего в качестве ядерных функций берут упрощенные функции Гаусса:

$$f(X) = e^{-\frac{|X-X_i|^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где X_i – i -ый образец одного из распознаваемых классов, $i = \overline{1, L}$, X – неизвестный образец, σ – параметр, задающий ширину (отклонение) ядерной функции Гаусса и определяющий ее влияние. Чтобы определить функцию плотности распределения вероятностей для всего k -го класса, функции Гаусса для всех учебных векторов суммируются:

$$\phi(X) = \sum_{i=1}^{L_k} e^{-\frac{|X-X_i|^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где L_k – объем обучающей выборки k -го класса.

Вероятностная нейронная сеть содержит, по меньшей мере, три слоя: входной, радиальный и выходной. Входной слой сети расчетов не выполняет и служит для приема и деления признаков входного вектора. Количество нейронов входного слоя определяется количеством признаков вектора X . Слой образцов содержит по одному нейрону для каждого образца входного вектора из обучающей выборки. То есть при общем объеме обучающей выборки, которая содержит L образцов, этот слой должен иметь L нейронов. Входной слой и слой образцов образуют полносвязную структуру.

Слой суммирования содержит количество нейронов, равное количеству классов, на которые разбиваются входные образы. Каждый нейрон слоя суммирования имеет связи только с нейронами слоя образцов, которые относятся к соответствующему классу. Все веса связей слоя суммирования в традиционной вероятностной нейронной сети приравниваются единицам.

Исходный нейрон выполняет функции дискриминатора пороговой величины. Он указывает, какой нейрон слоя суммирования имеет максимальный выходной сигнал. Тем самым определяется класс, к которому принадлежит представленный входной образ. Веса связей нейрона исходящего слоя устанавливаются так, чтобы на его выходе идентифицировался нейрон слоя суммирования с наибольшим значением активности.

Предъявление сети каждого из L образцов сопровождается указанием от учителя номера k -го класса, которому принадлежит входящий образец. Последовательность предъявления обучающих образцов может быть любой. После предъявления всех L векторов обучающей выборки, формируется структура сети, и параметры сети определены в виде матрицы. На этом процесс обучения вероятностной нейронной сети завершается и сеть готова к классификации неизвестных образцов.

В рабочем режиме сети подается входной образ X неизвестного класса, который сначала нормализуется, а потом умножается на матрицу весов и соответствующим образом активизирует нейроны слоя образцов. Каждый нейрон слоя образцов показывает на своём выходе некоторый уровень активности $y_i(X)$. Каждый k -ый нейрон слоя суммирования складывает равные активности $y_i(X)$ всех нейронов слоя образцов своего k -го класса. Этот нейрон показывает на своём

выходе общий уровень активности данного k -го класса $y^k(X)$, $k = \overline{1, L}$, определяет, какой нейрон слоя суммирования имеет максимальный выходной сигнал $y^k(X)$. Таким образом, по номеру k -го нейрона определяется номер класса k , к которому с большей вероятностью принадлежит образ X . Таким образом, вероятностные нейронные сети принадлежат к классу нейронных сетей с учителем.

Практическая реализация. При сканировании изделий из композитных материалов пространственная база получаемых сигналов ограничена снизу диаметром зоны электромагнитного контроля. Поскольку амплитуда сигналов в каждой точке абсциссы определяется проекцией дефекта изделия на плоскость, перпендикулярную направлению вихревых токов, то интегральной информативной характеристикой таких сигналов есть их площадь.

Плавное изменение формы сигнала от унимодального с максимальной амплитудой (когда дефекты превышают зону контроля) до бимодального с наибольшим провалом вершины (точечные дефекты) моделируется с помощью выражения:

$$y(x) = \exp(-1,5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2) \quad (3)$$

где k изменяется от 0 до 1, а x от -2 до 2 с шагом 0.1 . Изменяя значения k , можно получить различные формы сигналов дефектоскопии: узкий унимодальный, пологий унимодальный и бимодальный.

Площадь модельного сигнала является информативной характеристикой сигналов вихретоковой дефектоскопии и вычисляется путем интегрирования выражения (3) по абсциссе от $-\infty$ до $+\infty$, и является разностью известных [8] площадей под двумя ненормированными гауссовыми кривыми со значениями параметра $\sigma = 1 / \sqrt{3}$ и $\sigma' = 1 / \sqrt{6}$:

$$Q = \sqrt{\frac{2\pi}{3}} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} k\right), \quad (4)$$

где Q измеряется в квадратных относительных единицах длины, приведенной к эквивалентному диаметру катушки вихретокового преобразователя.

Для моделирования сигналов с шумом к выражению (3) добавляются случайные величины, распределенные по нормальному закону со средним значением 0 и среднеквадратичным отклонением от 0 до

0,2 с шагом 0,05 [6]. Для вычисления площади таких сигналов используем формулу трапеций[8].

Продemonстрируем использование вероятностной нейронной сети для классификации сигналов, получаемых при сканировании композитных материалов. Используя выражения (3) и (4), подсчитаем площади для модельных сигналов. Из них выбираем 7 значений, определяющих 41-компонентные вектора входов, и соотнесем каждый из них с одним из трех классов. Слой образцов имеет 7 нейронов: по 2 для первого и второго классов и 3 – для третьего класса. Слой суммирования содержит три нейрона, в соответствии с числом классов, на которые разбиваются входные векторы.

На полученном обучающем множестве промоделируем сеть и убедимся, что она правильно решает задачу классификации.

Выполним классификацию на элементах тестового множества, которое состоит из значений площадей зашумленных сигналов.

Результаты классификации представлены на рис. 1 и показывают, что три представленных сети вектора, отмеченные звездочками, классифицируются сетью PNN, состоящей из семи нейронов, абсолютно правильно.

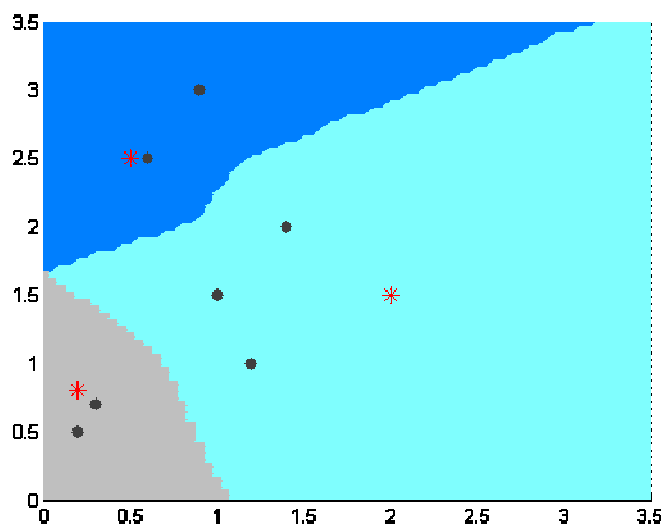


Рисунок 1 - Результаты классификации

Для оценивания эффективности функционирования созданной нейронной сети проведем ее тестирование. Шум со средним значением 0 и стандартным отклонением от 0 до 0,2 с шагом 0,05 добавляется к векторам входа. Для каждого значения шума проведем 100 измерений и определим значение долей неправильно классифицированных сигналов:

$$P = \frac{n}{N} \times 100, \%$$

где n – число неправильно классифицированных сигналов, N – их общее количество.

Таблица

Количество неправильно классифицированных сигналов

Значение шума, σ	0	0,05	0,1	0,15	0,2
P	0	0	11	23	35

Выводы. В данной работе проанализированы возможности применения вероятностных нейронных сетей для классификации зашумленных сигналов при проведении неразрушающего контроля. Эти сети отличаются высокой скоростью обучения, что позволяет использовать их в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / С.В. Аксенов, В.Б. Новосельцев – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
2. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006
3. Тихонов Е. В. Методы и алгоритмы прогнозирования экономических показателей на базе нейронных сетей и модулярной арифметики / Е. В. Тихонов, В. А. Кузьмищев. – Невинномысск: НИЭУП, 2004. – 166 с.
4. Сигеру О. Нейроуправление и его приложения / О. Сигеру. – М.: ИПРЖР, 2001. – 321 с.
5. Хандецкий В.С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Хандецкий В.С., Герасимов В.В. // Вісник ДНУ: Фізика. Радіoeлектроніка. – Дніпропетровськ: – 2003. № 10. – С. 128 – 132
6. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
7. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с
8. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов/ И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – М.: Наука, 1986.

Получено 19.01.2011г.

О.В. Сопільник, М.Л. Мартинова

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ В КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ

Анотація. Розроблено програмне забезпечення та проведено імітаційне моделювання електропровідності графітового композиту із застосуванням метода Монте-Карло для двох різновидів решітки матриці. Результатом роботи є визначення порогової концентрації складових, при якій струм провідності зникає.

Ключові слова: композитний матеріал, поріг протікання, генератор випадкових чисел, метод Монте-Карло, MATLAB, алгоритм.

Вступ. Інтенсивний розвиток мікроелектроніки, цифрової обчислювальної та вимірювальної техніки потребує все більшої кількості джерел живлення з максимальною енергоємністю, стабільністю, малими габаритами та тривалістю використання. Традиційні хімічні джерела струму на основі важких металів та їх з'єднань (цинк, свинець, ртуть, марганець тощо) мають низьку питому енергію і є екологічно небезпечними і достатньо дорогими. Перехід на літєві аноди дозволив якісно поліпшити їх енергетичні параметри, що у сполученні з неводними електролітами значно розширило температурний діапазон роботи. Подальший розвиток літєвих джерел струму пов'язаний з розробкою нових катодних матеріалів, зокрема на основі вуглецю [1].

Треба відзначити, що на даний час фізико – хімічні властивості таких композитів досліджені недостатньо; детального вивчення вимагають питання взаємозв'язку між складом композитів (вмістом і хімічною будовою компонентів) та їхніми властивостями (електропровідністю, механічними, термодформаційними характеристиками тощо).

Серед методів дослідження, які застосовуються для рішення цих проблем важливе місце займають методи імітаційного моделювання і дозволяють створювати адекватні моделі структур, що досліджуються [2].

Постанова задачі. Пошуки нових матеріалів для електродів хімічних джерел струму з високими питомими характеристиками привернули увагу до комкомпозитів з металевою матрицею, де в якості наповнювача використовують різновиди вуглецю. В цьому випадку найбільш перспективним є застосування електродних матеріалів на основі Li, Be тощо [1].

Структурні дослідження показали, що гостьові атоми металу впроваджуються у вигляді іонів, віддаючи свої електрони у графітовий шар. Графіт, таким чином, стає макроаніоном, електропровідність якого змінюється в залежності від концентрації вільних електронів [3]. Оскільки іон літія має малий розмір ($r = 0,68E$) шари графіту розсуваються незначно і зміна параметрів композиту пов'язана, головним чином, із заміщенням атомів в кристалічній решітці. Для літія характерна трикутна, а для берилія – квадратна кристалічні решітки, які і обрані у якості об'єкту дослідження розподілу струму при різній концентрації графіту.

Метою роботи є розробка імітаційних моделей і встановлення наявності порогу протікання струму в двомірних кристалічних решітках композиту при зміні концентрації компонент. Для цього необхідно: - обрати програмні засоби для реалізації поставленої задачі;- створити алгоритм імітаційного моделювання композиту із характерною для нього структурою решітки (квадратна, трикутна);- провести статистичну обробку результатів експерименту.

Рішення задачі. Теоретичним підґрунтям для рішення даної задачі обрана теорія протікання [2]. Програмне середовище - MATLAB і його розширення (Toolbox). MATLAB має добре розвинені можливості візуалізації двомірних і тривимірних даних. Функції й додатки Statistics Toolbox реалізують широкий спектр статистичних задач [4].

Процес імітаційного моделювання одношарових структур з трикутною та квадратною кристалічними решітками показаний на рис. 1.

Спочатку задають параметри для формування масиву (матриці) елементів: S - кількість рядків, B - кількість стовпців, T - початкове значення порогу протікання (у нашому випадку $S=B=50$, T – приймає різні значення залежно від структури решітки). На другому кроці визначають структуру решітки і вже в залежності від цього алгоритм виконується далі. Для квадратної решітки можна безпосередньо приступати до реалі-

зації процесу, а для трикутної необхідно спочатку виділити з масиву необхідну форму матриці. Для цього елементам, які не беруть участі в експерименті, присвоюють значення, відмінні від тих, які надаються блокованим і неблокованим вузлам, а вже потім створюється імітаційна модель. Для створеної матриці викликається функція, що імітує процес та визначає поріг протікання. Якщо протікання відбулося (значення відповідного лічильника $prot > 0$), то дана функція знову викликається і обчислює поріг протікання вже для нової матриці. Процес продовжується доти, доки фіксується протікання в матеріалі.

Відстань між вузлами дорівнює одиниці, вузли мають координати i, j . Щоб встановити поріг протікання, необхідно задати розподіл вузлів, як блокованих, так і неблокованих, щоб мати можливість змінювати їх співвідношення за рахунок іонів металу для досягнення порогу протікання. Для цього спочатку кожному вузлу надаємо відповідну координату. Обраний масив M має всього $50 \times 50 = 2500$ елементів, і в пам'яті потрібно зарезервувати цей об'єм.

Програма починається зі створення масиву. Його елементи - випадкові числа, рівномірно розподілені від нуля до одиниці. Генератор випадкових чисел (метод Монте-Карло) видає число u , яке присвоюється елементу масиву $M(1,1)$. Наступне число, що видає генератор, присвоюється елементу $M(1,2)$ і т. д.

Надалі формуємо другий двовірний масив, який позначаємо як L . Елементи цього масиву 0 та 1, причому якщо, наприклад, $L(25,16)=0$, то вузол з координатами $i=25, j=16$ блокований, а якщо $L(25,16)=1$ - неблокований. Для формування масиву L використовують масив M і деяке число $0 \leq T \leq 1$, яке визначає відсоток блокованих вузлів, тобто концентрацію компонент.

Масив L формується так: беремо вузол з координатами i, j . Якщо $M(i,j) \leq T$, то $L(i, j)=1$, якщо $M(i,j) > T$, то $L(i,j)=0$. У першому випадку вузол неблокований, у іншому - блокований. При $T=1/2$ кількість блокованих і неблокованих вузлів буде однаковою.

Параметр T можна зв'язати з середньою часткою неблокованих вузлів x , яку маємо внаслідок описаної вище процедури так, що $T = x$. Ця тотожність коректна, якщо взяти або велику кількість вузлів решітки, або сформувані багато масивів L з одним і тим же значенням T , а потім осереднити результати.

Для квадратної матриці ніяких обмежень немає, тому після створення масиву М функцією rand формуємо масив L.

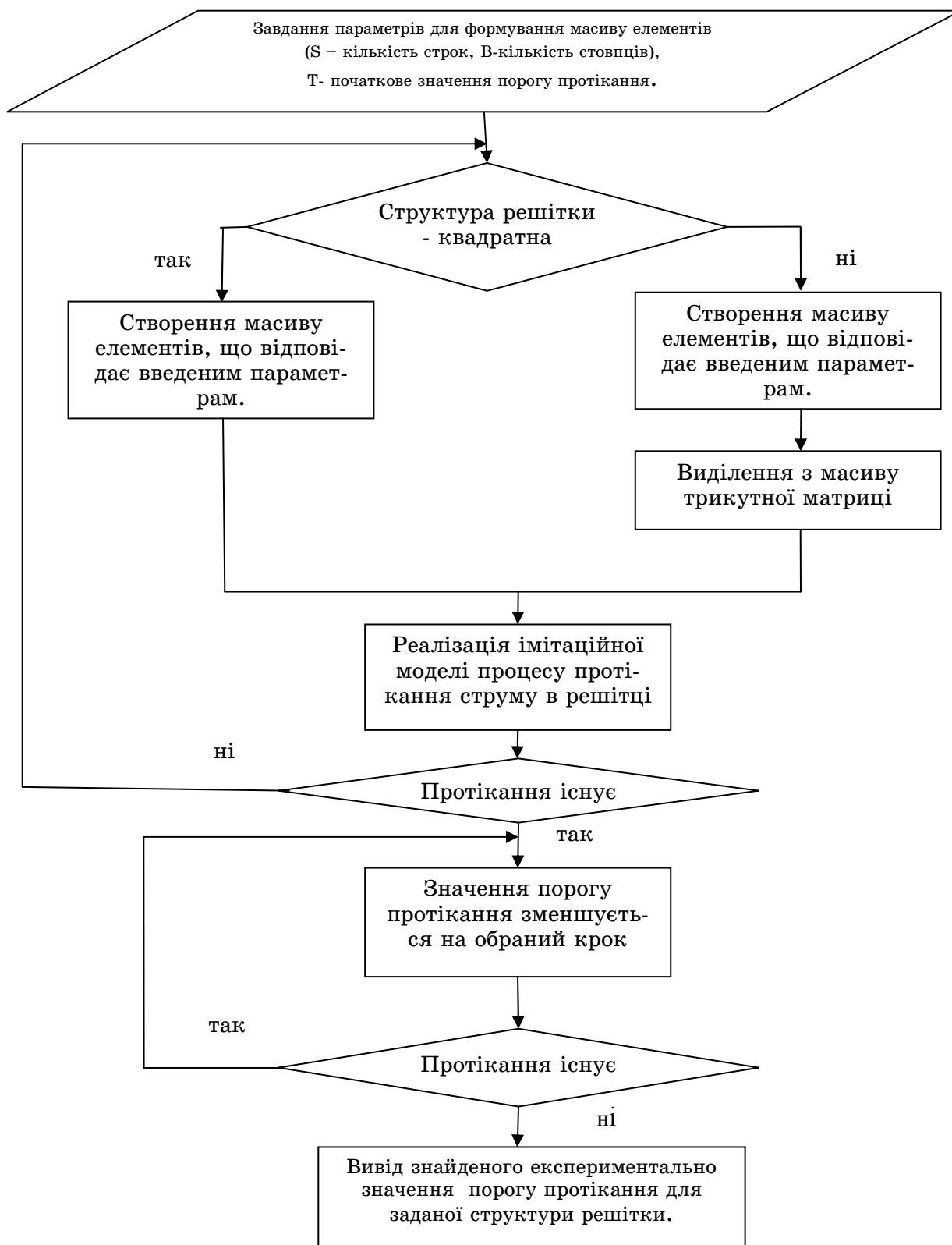


Рисунок 1- Функціональна схема експерименту

Приклад результату (з метою наочності розмірність масиву = 10x10)

```
L =  0 1 0 1 1 0 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
1 1 0 1 1 1 1 0 1 1
0 0 1 1 1 1 1 1 1 0
1 0 1 1 1 0 1 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 0 0 1
0 1 1 0 1 0 1 0 0 1
1 1 0 1 1 0 1 0 1 0
1 1 0 1 1 1 1 1 0 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

Для трикутної матриці створюється масив, який містить елементи, які не беруть участі в процесі і позначені, наприклад, цифрою 5.

```
M =  0 5 0 5 0 5 0 5 0 5
5 0 5 0 5 0 5 0 5 0
0 5 0 5 0 5 0 5 0 5
5 0 5 0 5 0 5 0 5 0
0 5 0 5 0 5 0 5 0 5
5 0 5 0 5 0 5 0 5 0
0 5 0 5 0 5 0 5 0 5
5 0 5 0 5 0 5 0 5 0
0 5 0 5 0 5 0 5 0 5
5 0 5 0 5 0 5 0 5 0
```

Після цього матриця заповнюється 0 і 1 – результатами дії функції rand і формується масив L.

```
L = 1 5 1 5 1 5 1 5 0 5
5 0 5 1 5 0 5 1 5 0
1 5 0 5 0 5 1 5 1 5
5 0 5 1 5 1 5 1 5 1
1 5 1 5 0 5 1 5 0 5
5 1 5 1 5 0 5 1 5 1
1 5 0 5 0 5 0 5 0 5
5 1 5 1 5 0 5 1 5 1
1 5 1 5 1 5 0 5 1 5
5 1 5 1 5 0 5 1 5 1
```

Маємо розподіл блокованих та неблокованих вузлів і починається другий етап - пошук шляхів протікання у напрямі ліворуч-праворуч. Для цього усі одиниці, що знаходяться в лівому стовпчику ($j=1$), перейменовуються у двійки. В пам'яті формується список координат вузлів, що були перейменовані (двійки "першого покоління").

Наприклад, для довільної квадратної решітки маємо

L = 2 1 1 1 0 0 0 1 1 1

2 1 1 0 1 1 1 1 1 1

2 1 1 0 1 1 1 1 0 1

2 0 0 0 1 1 1 0 1 1

2 1 1 1 1 1 1 0 1 0

2 1 0 0 0 0 1 1 1 0

2 0 1 1 0 0 1 0 1 1

2 0 1 0 1 0 1 1 1 0

2 1 0 0 1 1 1 0 1 1

2 1 1 0 1 1 1 1 0 0

Після аналізу першого списку в пам'яті ЕОМ створюється список двійок "другого покоління", тобто список одиниць, перейменованих в двійки, завдяки тому, що вони перебувають в безпосередньому контакті з двійками першого покоління. З метою економії пам'яті перший список можна ліквідувати. Програма переходить до вивчення другого списку і створення списку двійок "третього покоління" і т.д. Пори цьому кількість двійок в масиві L поступово збільшується. Двійки (неблоковані вузли), пов'язані шляхом протікання з якимось неблокованим вузлом крайнього лівого стовпця, тобто двійками позначаються шляхи протікання. Наприклад, для квадратної решітки в результаті маємо два шляхи протікання:

L = 2 2 2 2 2 2 0 0 1 0

2 2 2 2 0 2 2 2 0 0

2 2 2 2 2 2 2 2 0 0

2 2 0 0 2 2 2 2 2 2

2 2 0 0 2 2 2 2 2 0

2 0 2 2 2 2 0 2 0 1

2 2 2 0 2 2 2 2 2 0

2 2 2 2 2 2 2 2 0 0

2 2 2 2 2 0 2 2 2 2

2 2 2 2 0 1 2 0 0 1

Процес пошуку цих шляхів припиняється у двох випадках:

1. На правій стороні квадрата з'явилася хоча б одна двійка. Програма фіксує, що при даному значенні порогу T протікання існує.

2. На правій стороні квадрата двійок немає, і вивчення чергового списку не призвело до утворення жодної нової двійки. Це означає, що всі шляхи перервані і при цьому значенні T протікання немає.

Значення параметру T беремо більшим, ніж теоретичне (для квадратної решітки наближене значення $T = 0,59$, для трикутної – $T = 0,5$) [2] для того, щоб знайти точне значення порогу протікання.

Якщо при даному T протікання існує, тоді програма зменшує T і, використовуючи той же самий масив M , знаходить новий масив L із зменшеною кількістю неблокованих вузлів. Знову відбувається пошук шляхів протікання доти, доки при деякому T не виявиться їх відсутність.

Для квадратної решітки поріг протікання зменшується кожен раз на крок $h = 0,03$, для трикутної – на $h = 0,05$.

Метод дозволяє знайти значення T , яке відповідає порогу протікання з необхідною точністю. При цьому значенні обчислюється частка неблокованих вузлів x , яка близька до T , але не обов'язково йому дорівнює. Це значення x і оголошується порогом протікання, отриманим в даному експерименті. Середнє значення порогу $T_{cp}(N)$ для квадратної решітки обчислюється за формулою:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{n=1}^{200} T_n}{N} = \frac{117,78}{200} = 0,5889,$$

де T_n – значення порогу протікання у кожному експерименті, N – кількість прогонів ($N=200$). Похибка вимірювань: $\sigma = (0,59 - 0,5889) * 100\% = 0,11\%$.

Для трикутної решітки маємо відповідно: $T_{cp} = 0,489$; $\sigma = (0,5 - 0,489) * 100\% = 1,1\%$.

Отримані результати для композитів з трикутною та квадратними двомірними решітками розмірністю 50×50 при проведенні 200 експериментів показують, при якому співвідношенні компонентів не буде жодного шляху протікання току.

Висновки

1. Теоретичним підґрунтям для вивчення процесів взаємодії матриці та наповнювача в композиті, які мають імовірнісний характер, доцільно обрати теорію протікання.

2. Експериментально отримані значення порогів протікання наближені до теоретичних. Це свідчить про коректність методики, репрезентативність обраної матриці.

3. Програмна реалізація імітаційної моделі розроблена в інтерактивній системі MATLAB, що дозволяє провести обчислення матриць набагато швидше, ніж при використанні інших засобів програмування.

5. Створене програмне забезпечення вирішує проблему визначення критичної точки для електропровідності в композитах різної структури та дає змогу наблизити систему до реальності при введенні конкретних параметрів компонентів без будь-яких попередніх дослідів чи обчислень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Онищенко Д.В., Цветников А.К., Попович А.А., Курявый В.Г. Синтез новых катодных материалов для литиевых химических источников тока. <http://zhurnal.apc.relarn.ru/articles/2007/118.pdf>
2. Эфрос А. Л. Физика и геометрия беспорядка. // М.- Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. - 176 с
3. Дядин Ю. А. Графит и его соединения. Сорровский образовательный журнал, т.6, №10, 2000 с.43-49.
4. Смоленцев Н. К. MATLAB: программирование на Visual C#, Borland JBuilder, VBA: Учебный курс (+CD).- М.: ДМК Пресс: СПб.: Питер, 2009. – 464 с.

Отримано 15.01.2011р.

В.С. Хандецкий, Ю.О. Тонкошкур

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ ШАРУ ПОРОШКОВОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ БЕЗКОНТАКТНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Анотація. Розроблено математичну модель, яка дозволяє наближено, але в аналітичному вигляді розрахувати еквівалентну електричну провідність шару порошкового матеріалу за результатами безконтактних вимірів у вихоровому магнітному полі. Одержані результати дозволили визначити провідність порошків MnO , одержаних при різних температурах відпалу.

Ключові слова: математична модель, шар порошкового матеріалу, безконтактні виміри, вихорове магнітне поле, електрична провідність.

Вступ. На теперішній час вимірювання електричної провідності порошків здійснюють, як правило, контактними методами. Ці методи дають задовільні результати після сильного пресування порошкових матеріалів, коли їх щільність становиться близькою до щільності твердого тіла. Проте ряд порошкових матеріалів використовується при значеннях щільності, близьких до насипних, або збільшених в невеликій ступені під впливом, наприклад, вібрації порошку. Це відноситься до композитних покриттів електродів хімічних джерел струму, покриттів сонячних елементів, різного роду захисних покриттів, тощо. При таких щільностях контактні вимірювання електричної провідності характеризуються значною розбіжністю результатів. Це пояснюється зміненням величини контактних опорів між зернами в об'ємі порошку і на поверхні електродів при змінненні щільності порошкового матеріалу. При вимірюванні електричної провідності порошкових матеріалів безконтактним способом у вихоровому магнітному полі стабільність результатів є значно вищою.

Постановка задачі. В даній роботі поставлена задача розробки математичної моделі для визначення електричної провідності шару порошкового матеріалу змінної товщини за результатами безконтактних вихорострумівих вимірювань і застосування цієї моделі для роз-

рахунку електричної провідності порошку MnO , одержаного при різних температурах відпалу.

Експериментальні дослідження. Експерименти здійснювались на двох модифікаціях порошку MnO , одержаних при температурах відпалу $t_1=250^\circ\text{C}$ і $t_2=350^\circ\text{C}$.

Середній розмір гранул порошоків складав 40 мкм. Для досліджень був виготовлена ємність з оргскла, конструкція якої показана на рис.1.

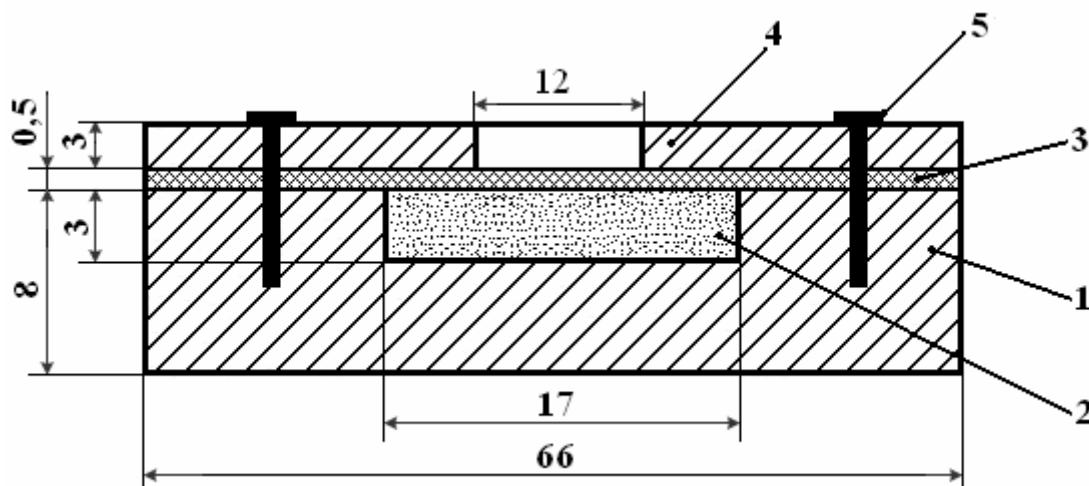


Рисунок 1 - Ємність для дослідження порошку MnO

Корпус ємності 1 містить внутрішній простір циліндричної форми 2, в який засипався порошок. Кількість порошку приблизно на 10% перевищувала його об'єм у внутрішньому просторі 2, після чого порошок ущільнювався мембраною 3 із склотекстоліту. На мембрану накладається пластина з оргскла 4 з вирізом для підводу вихорострумовевого датчика. Пластина притискається до основного корпусу 1 гвинтами 5. Вихорострумовевий датчик являє собою одновиткову котушку індуктивності діаметром $D=8\text{мм}$, діаметр проводу $d_0=1,0\text{мм}$. Вимірювання здійснювались за допомогою приладу Tesla BM-409G в діапазоні частот від 100 до 270 МГц. Дослідження здійснювали для різної товщини шару порошку: $T=3\text{мм}$, 2мм , 1мм . Для цього у внутрішній простір 2 вводили циліндричні пластини з оргскла товщиною відповідно 1 і 2мм.

По одержаним результатам вимірів розраховані відносні величини внесених у вихорострумовевий датчик активного $R_r=R_{\text{ен}}/\omega L_0$ і індуктивного $X_r=X_{\text{ен}}/\omega L_0$ опорів (ωL_0 – власний індуктивний опір датчика). Слід відзначити, що параметр X_r виявився мало інформатив-

ним. Різні модифікації порошку детерміновано не відрізняються між собою по цьому параметру на частотах діапазону, що досліджується. Графіки залежності R_r від частоти наведені на рис.2.

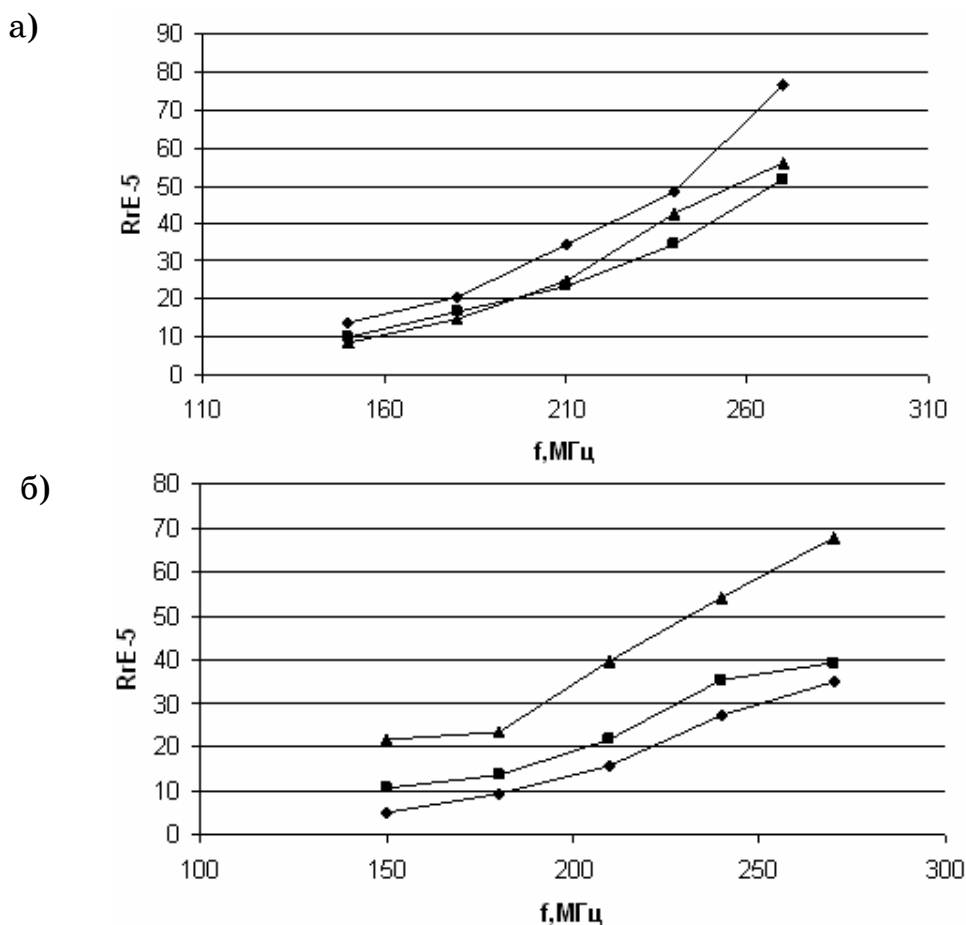


Рисунок 2 - Частотні залежності R_r : а – MnO, одержаний при температурі відпалу $t=250^\circ\text{C}$; б – MnO, одержаний при температурі відпалу $t=350^\circ\text{C}$; $\blacktriangle$ - $T=1\text{мм}$, $\blacksquare$ - $T=2\text{мм}$, $\blacklozenge$ - $T=3\text{мм}$

Теоретичні дослідження. Наближений вираз, що визначає комплексний опір, внесений в накладний вихорострумовий перетворювач з вісесиметричним полем неферромагнітною провідною пластиною, має вигляд [1]:

$$Z_{en} = 48 \cdot 10^{-7} \omega R W^2 e^{-\frac{3}{2}\alpha} \beta^2 \cdot \phi(\xi, \beta), \quad (1)$$

де ω - колова частота; R - радіус вихорострумового датчика; W - число витків; $\alpha=2h/R$, де h - величина зазору між робочим торцем вихорострумового датчика й поверхнею матеріалу, що контролюється; $\beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0}$, узагальнений параметр Ценнека, σ - питома електрична

провідність матеріалу, μ_0 - магнітна постійна; $\xi=2d/R$, де d - товщина пластини. Функція $\phi(\xi, \beta)$ виражається наступним чином:

$$\phi(\xi, \beta) = \frac{th(\frac{\xi}{4}\sqrt{9+j\cdot 4\beta^2})}{3\sqrt{9+j\cdot 4\beta^2} + (9+j\cdot 2\beta^2)th(\frac{\xi}{4}\sqrt{9+j\cdot 4\beta^2})}. \quad (2)$$

Для малих значень параметра β ($\beta < 0,1$), тобто для слабопровідних матеріалів, вираз (2) можна спростити:

$$\phi(\xi, \beta) = \frac{th\frac{3\xi}{4}}{9(1+th\frac{3\xi}{4})}. \quad (3)$$

У цьому випадку

$$\frac{R_{\text{вн}}}{\omega L_0} = \frac{48}{9L_0} \cdot 10^{-7} \mu_0 R^3 W^2 \cdot \omega \sigma \cdot e^{\frac{3}{2}\alpha} \cdot \frac{th\frac{3\xi}{4}}{9(1+th\frac{3\xi}{4})}, \quad (4)$$

де L_0 - власна індуктивність датчика. В цьому випадку, вимірюючи R_r , ми можемо з формули (4) визначити величину σ . Відповідні розрахунки зроблені для товщини шару порошку MnO $T=3\text{мм}$, одержаного при температурі відпалу $t=250^\circ\text{C}$. В табл.1 приведені ці значення.

Як виходить з табл.1, значення параметру β не є настільки малими, щоб можна було нехтувати їх значеннями в формулі (2). Тому для проведення більш коректних розрахунків потрібно розділити дійсну та уявну частини $\phi(\xi, \beta)$ (2).

Таблиця 1

Значення еквівалентної провідності порошку MnO

f , МГц	σ , См/м	β
150	13,2	0,50
180	16,6	0,62
210	23,8	0,80
240	29,8	0,96
270	42,2	1,21

Позначимо: $z = 9 + j \cdot 4\beta^2$. Тоді, згідно [2]

$$\sqrt{z} = W_k = \sqrt{|z|} \cdot (\cos \frac{\phi_0 + 2k\pi}{2} + j \sin \frac{\phi_0 + 2k\pi}{2}), \quad (5)$$

де $k=0, 1$; $\phi_0 = \arctg(4\beta^2 / 9)$.

При цьому $W_0 = \sqrt{|z|} \cdot (\cos \frac{\phi_0}{2} + j \sin \frac{\phi_0}{2})$ називається головним значенням.

$$\text{Позначимо } \phi(\xi, \beta) = P/Q, \text{ де } P = (A \cos \theta - 1) + jA \sin \theta, \quad (6)$$

$$A = e^{\frac{d}{R} \sqrt{|z|} \cos \frac{\phi_0}{2}}, \quad \theta = \frac{d}{R} \sqrt{|z|} \sin \frac{\phi_0}{2}. \quad (7)$$

Розділяючи дійсну та уявну частини в знаменнику (2), одержимо:

$$\text{Re } Q = 3\sqrt{|z|} \cdot A \cos(\frac{\phi_0}{2} + \theta) + 3\sqrt{|z|} \cdot \cos \frac{\phi_0}{2} + 9A \cos \theta - 2A\beta^2 \sin \theta - 9; \quad (8)$$

$$\text{Im } Q = 3\sqrt{|z|} \cdot A \sin(\frac{\phi_0}{2} + \theta) + 3\sqrt{|z|} \cdot \sin \frac{\phi_0}{2} + 9A \sin \theta + 2A\beta^2 \cos \theta - 2\beta^2; \quad (9)$$

$$\text{Тоді } \phi(\xi, \beta) = \frac{(A \cos \theta - 1) + jA \sin \theta}{\text{Re } Q + j \text{Im } Q}. \quad (10)$$

Виключаючи комплексність у знаменнику (10), одержимо

$$\text{Re } \phi(\xi, \beta) = \frac{D}{\text{Re}^2 Q + \text{Im}^2 Q}, \quad (11)$$

$$\text{де } D = 3(A^2 - 1)\sqrt{|z|} \cdot \cos \frac{\phi_0}{2} + 6A\sqrt{|z|} \cdot \sin \frac{\phi_0}{2} \sin \theta - 18A \cos \theta + 9(A^2 + 1), \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{Re}^2 Q + \text{Im}^2 Q = & 2A(9|z| - 4\beta^4 - 81) \cos \theta + 54(A^2 - 1)\sqrt{|z|} \cdot \cos \frac{\phi_0}{2} + \\ & + 12(A^2 - 1)\beta^2 \sqrt{|z|} \cdot \sin \frac{\phi_0}{2} + 12A\sqrt{|z|} \cdot \sin \theta \cdot (9 \sin \frac{\phi_0}{2} - 2\beta^2 \cos \frac{\phi_0}{2}) + \\ & + (A^2 + 1)(9|z| + 4\beta^4 + 81); \end{aligned}$$

$$A = e^{\frac{d}{R} \sqrt{|z|} \cos \frac{\phi_0}{2}}, \quad \theta = \frac{d}{R} \sqrt{|z|} \sin \frac{\phi_0}{2}, \quad z = 9 + j \cdot 4\beta^2, \quad |z| = \sqrt{81 + 16\beta^4}, \quad \phi_0 = \arctg \frac{4\beta^4}{9}$$

Розглянемо випадок $\beta < 0$. Для малих β вираз (11) придбає наступний вигляд:

$$\text{Re } \phi = \frac{1}{18} [1 - \exp(-\frac{3}{2} \xi)] . \quad (13)$$

Розрахунок по формулі (13) показує, що при $R=4\text{мм}$ для $d=3\text{мм}$ $\text{Re}\phi=0,0497$, для $d=2\text{мм}$ $\text{Re}\phi=0,0432$, для $d=1\text{мм}$ $\text{Re}\phi=0,0293$. Розрахунок по формулі (3), що одержана безпосередньо з формули (2), дає такі ж значення $\text{Re}\phi$.

В таблиці 2 представлені результати розрахунків $\text{Re}\phi\beta^2$, виконані за формулами (11), (12).

Графіки залежності $\beta^2 \cdot \text{Re}\phi$ від узагальненого параметру β при різних значеннях ξ представлені на рис.3.

На основі (1) можна записати:

$$R_r = \frac{R_{\text{en}}}{\omega L_0} = 96\pi \cdot 10^{-7} f R W^2 e^{\frac{3h}{R}} \cdot \beta^2 \phi(\xi, \beta). \quad (14)$$

Таблиця 2

Значення $\text{Re}\phi\beta^2$, розраховані згідно (11),(12)

β	ξ			β	ξ		
	0,5	1,0	1,5		0,5	1,0	1,5
0,5	0,00733	0,01078	0,01240	2,0	0,10795	0,13676	0,13828
0,6	0,01055	0,01550	0,01858	2,2	0,12729	0,15116	0,14779
0,7	0,01434	0,02106	0,02419	2,4	0,14328	0,16177	0,15339
0,8	0,01872	0,02744	0,03144	2,6	0,15910	0,16844	0,15582
0,9	0,02366	0,03458	0,03952	2,8	0,17280	0,17150	0,15591
1,0	0,02916	0,04245	0,04832	3,0	0,18395	0,17160	0,15456
1,2	0,04175	0,06001	0,06758	3,5	0,19941	0,16364	0,14854
1,4	0,05629	0,07954	0,08785	4,0	0,19904	0,15138	0,14219
1,6	0,07247	0,09969	0,10744	4,5	0,18838	0,13981	0,13644
1,8	0,08989	0,11922	0,12566	5,0	0,17309	0,13040	0,13095

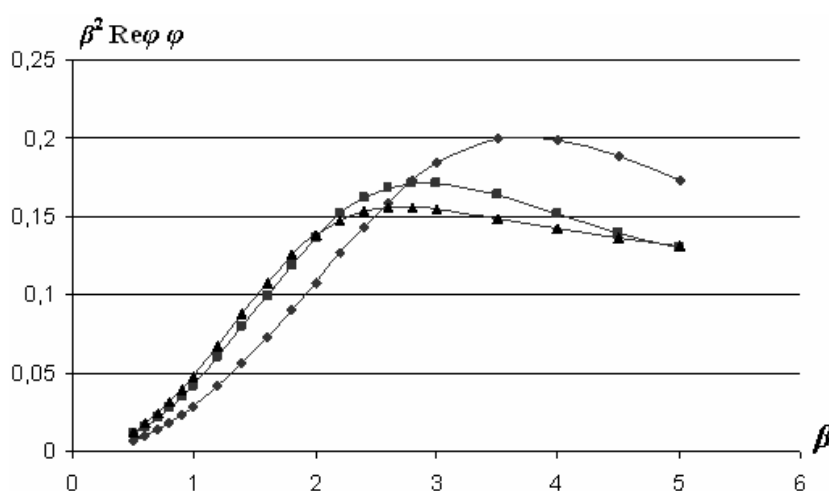


Рисунок 3 - Залежності $\beta^2 \cdot \text{Re}\phi$ від $\beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0}$ і $\xi = 2d/R$: $\blacktriangle$ - $\xi=1,5$;
 $\blacksquare$ - $\xi=1,0$; $\blacklozenge$ - $\xi=0,5$

Вимірюючи R_r на фіксованій частоті і визначивши величину усталеного (чи конструктивного зазору) по формулі (14) можна обчислити значення функції $\beta^2 \cdot \text{Re}\phi$. Користуючись даними табл.2, визначаємо відповідне значення параметру β і відповідне йому значен-

ня питомої електричної провідності σ . Це є електрична провідність гомогенної пластини, товщина якої дорівнює товщині шару порошку, еквівалентної йому за критерієм джоулевих втрат.

Екстремальний характер кривих на рис.3 створює неоднозначність визначення величини β за результатами розрахунку функції β^2 . Реф. Проте, слід відзначити, що порядок розташування кривих в залежності від параметра $\xi = 2d/R$ в доекстремальній і післяекстремальній областях графіків зворотні. Це підтверджується і порядком розташування частотних характеристик на рис.2. Електрична провідність порошку MnO при температурі відпалу $t=250^\circ\text{C}$ відповідає доекстремальній, а при $t=350^\circ\text{C}$ – післяекстремальній областям залежностей. Відповідні розрахунки показали, що при $f=270\text{МГц}$ і $t=250^\circ\text{C}$ $\sigma=94\text{ См/м}$, а при $t=350^\circ\text{C}$ $\sigma=260\text{ См/м}$.

Висновки. Розроблено математичну модель, яка дозволяє наближено, але в аналітичному вигляді розрахувати еквівалентну електричну провідність шару порошкового матеріалу за результатами безконтактних вимірів у вихоровому магнітному полі. В якості критерію еквівалентності використовується рівність джоулевих втрат в гранулах порошку і в гомогенній пластині тієї ж товщини, що і шар порошку. Щільність порошку близька до насипної. Одержані результати дозволили розрахувати провідність порошків MnO, одержаних при різних температурах відпалу, і можуть використовуватись для порошкових матеріалів з еквівалентною провідністю від десятих до десятків См/м до провідності порошків графіту [3,4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики .- Новосибирск: Наука, 1967.-144 с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. -М.: Наука, 1986.- 542 с.
3. Redko V.I., Khandetsky V.S. Non-contact electromagnetic method for determining the conductivity of powdered electrode materials // Mat. of Symp. " Electrochem. of new electrode materials for energy conversion and storage " of the 211th Meeting of the Electrochemical Society, Chicago, Illinois, May 6- 10, 2007, p. 112-116.
4. Redko V.I., Khandetsky V.S. Method and automatic system for non-contact determination of physical properties of powdered materials // Mat. of ESC Meeting with EuroCVD and SOFC XI – 11 Int. Symp. of Solid Oxide Fuel Cells, Vienna, Austria, Oct.4-9, 2009, p. 178-182.

Отримано 23.01.2011р.

А.А. Литвинов, А.И. Брежнев, Ю.В. Гаврилюк

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ РАБОТ СТАЦИОНАРНОГО ЛЕЧЕБНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Аннотация. В данной работе рассмотрен вариант разработки подсистемы управления потоками работ на базе технологии Windows Workflow Foundation. Результатом работы является вариант построения системы, которая позволяет управлять потоками работ конечным пользователям (менеджерам, экспертам), что позволяет обеспечить гибкость медицинской информационной системы и является неотъемлемой частью систем контроля качества и стоимости лечения

Ключевые слова: поток работ, активность, управление потоком работ, медицинская информационная система, Windows Workflow Foundation.

Введение и актуальность. Высокое качество медицинской помощи невозможно без современных диагностических и лечебных технологий, которые базируются на стандартах диагностики и лечения, преследующих цель использования наиболее эффективных, и в то же время, наиболее экономически выгодных методов диагностики и лечения[1]. Однако, без интеграции разработанных стандартов с соответствующей информационной поддержкой, обеспечивающей возможность осуществления контроля выполнения стандартов, процесс практического их внедрения будет крайне затруднительным, и даже вряд ли возможным. Таким образом, актуальными вопросами медицинской информатики являются вопросы построения информационных технологий поддержки (построения, выполнения, контроля) стандартов медицинской помощи, без которых практически невозможен качественный контроль выполнения медико-экономического стандарта. При этом следует указать на отдельный класс систем управления потоками работ [2], которые обеспечивают возможность динамического

изменения потока работ конечным пользователем на основании общепонятных представлений[3].

Краткий обзор существующих методов и постановка задачи. Говоря о системах управления потоков работ в медицине, в контексте медико-экономических стандартов, мы попадаем в область, не имеющую своих правил и эффективных решений. Структура потока, отвечающего стандарту, обладает спецификой, которая отличает данный класс потоков работ от принятых в других сферах бизнеса[3]. Использование же стандартов описания потоков работ (например, BPMN[4]) в чистом виде (рис.1) не является приемлемым для конечного пользователя-эксперта, отвечающего за контроль выполнения потока работ, соответствующего медицинскому стандарту.

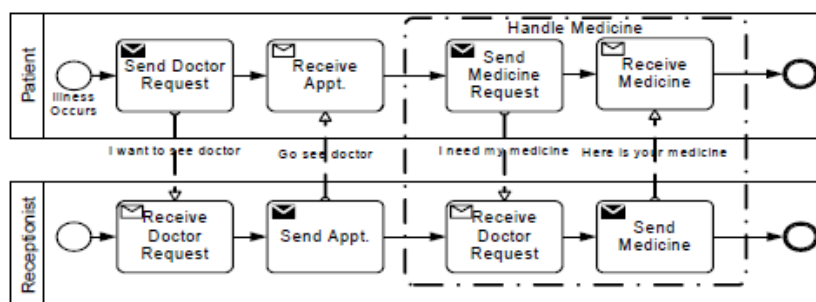


Рисунок 1- Пример описания потока работ на языке BPMN [4]

Типовое же представление эксперта-медика об алгоритме-схеме лечения пациента (рис.2), обладает более низкой степенью формализации. Вместе с тем следует отметить ряд дополнительных элементов, выражающих те или иные свойства активностей, составляющих поток и определяющих его выполнения.

Постановка задачи. Задача состоит в построении подсистемы управления потоками работ доступной для конечного пользователя, которыми являются эксперты, менеджеры и роль которых заключается в создании классов потоков работ, анализе их выполнения. За основу представления потока работ принята форма, представленная рис.2.

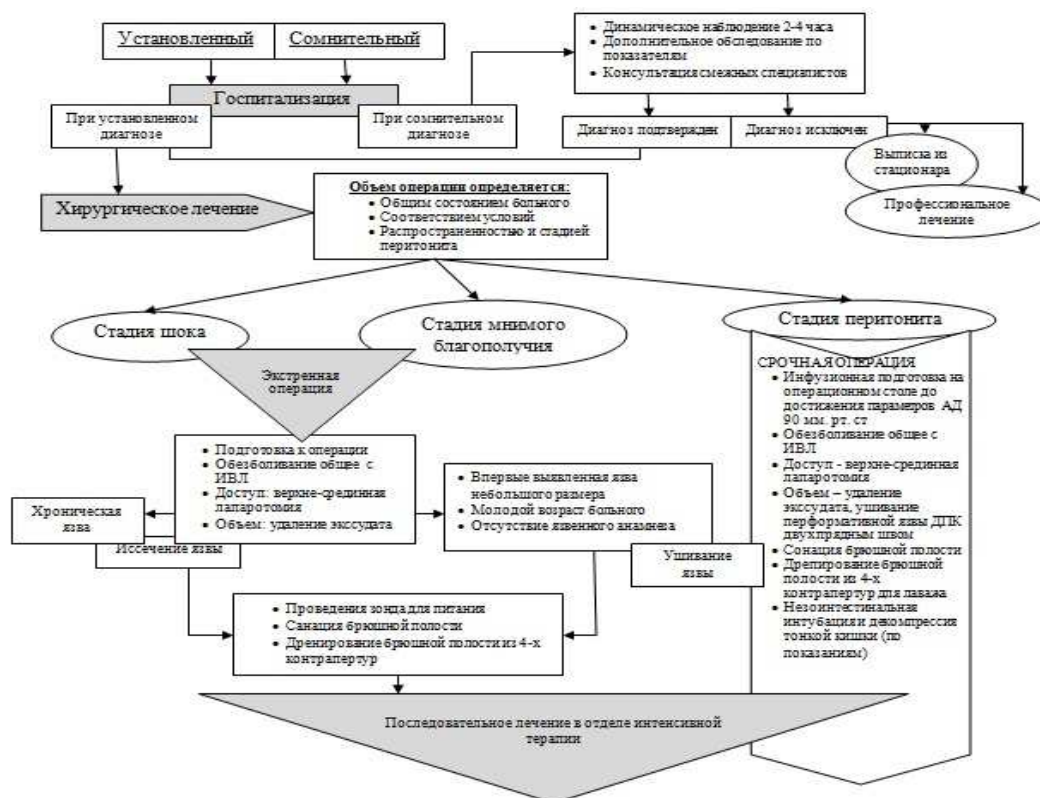


Рисунок 2 - Типовое представление эксперта-медика об алгоритме-схеме лечения пациента [1]

Основная часть. Специфика информационной системы, ориентированной на стандарты, состоит в предварительном описании всех классов потоков работ, составляющих стандарты, с использованием доменно-специфичных активностей, скрывающих детали системной реализации и, далее, дальнейшей их реализации, обеспечивая при этом связь множества информационных подсистем и служб с целью выполнения заданного процесса. При этом важной особенностью является фиксирование необходимой информации, связанной с выполнением потоков работ, что позволяет контролировать их выполнение, оптимизировать стандарты. Рассмотрим основные особенности работы системы данного класса. Задание класса потока работ является прерогативой эксперта и начинается с клинического диагноза[5][6]. Используя ряд примитивов-активностей, эксперт задает схему лечения, которая может включать основные и альтернативные ветви, зависящие от состояния пациента, оцениваемого диагностическими активностями. Основной активностью является процедура, которая может быть лечебной, диагностической, выполнением лабораторного исследования; назначением медикаментов. Основой задания активностей-

процедур является использование соответствующих справочников клинических диагнозов, лечебных и диагностических процедур, медикаментов, материалов. Кроме процедур и назначений могут использоваться другие активности, связанные с соответствующими подсистемами: выделение/освобождение койки определенного типа, назначение/снятие стола питания и т.д. [3]. Необходимо также учитывать ряд дополнительных характеристик и объектов, связанных с выполнением активности. Например, сведений о специализации/квалификации исполнителя для выполнения данной процедуры. При этом следует отметить возможность наличия множества альтернативных объектов (например, медикаментов). Необходимо учитывать дополнительные характеристики пациента, в рамках одного и того же клинического случая, которые могут повлечь за собой альтернативный сценарий лечения пациента, ведущий к иным финансовым расходам.

При приеме пациента создается экземпляр потока работ, связанный с его клиническим диагнозом, который относится к определенному стандарту. С выполнением шагов потока работ связаны исполнители и ресурсы, действия которых фиксируются с помощью информационной системы. При этом каждый исполнитель отвечает только за свою активность, характеризующуюся длительностью выполнения, материальными затратами. Инициация потока работ происходит в рамках информационной системы, а выполнение в идеале основано на сервисно-ориентированной архитектуре, основная идея которой состоит в использовании множества агностических сервисов, участвующих в обеспечении выполнения тех или иных потоков работ, на которых базируется деятельность учреждения. При этом следует отметить, что службы, задействованные в выполнении потока работ, знают о его наличии только косвенно, обеспечивая тем самым принцип слабой связности(*loosely coupling*) компонентов системы.

Разрыв представления, доступного эксперту для восприятия потока работ, и формы, способной быть воспринятой информационной системой составляет основную сложность решения данной задачи.

В качестве интерпретируемой основы естественно использовать стандартные средства, например, технологию Windows Workflow Foundation[7], предоставляющую программную модель, среду выпол-

нения и набор дополнительных компонентов (редактор потоков), позволяющих создавать системы управления потоками работ. Несмотря на объявленную простоту использования данной технологии, попытка использования только стандартных средств не привела к положительным результатам: использование пользовательских активностей (custom activities), в контексте данной задачи, связано с рядом проблем технического характера. Поэтому данная технология была выбрана только в качестве основы.

Надстройка включает в себя: доменно-специфический язык, позволяющий избежать зависимости от нотации и графический редактор, позволяющий эксперту-медику создавать/изменять потоки работ, используя понятные примитивы, задавать характеристики, определяющие структурные и функциональные особенности их выполнения. С данными составляющими связаны соответствующие компоненты: редактор потоков, транслятор пользовательского представления в доменно-специфический язык, среда выполнения нормализованных потоков работ, описанных с использованием доменно-специфического языка. На рис.3. представлен простой пример описания потока работ с двумя альтернативами в зависимости от результата, сформированного блоком решения. Характеристики задают особенности выполнения той или иной процедуры и могут отличаться. В данном случае используются процедуры типа «операция» с идентичным перечнем характеристик, задающих: код процедуры, согласно справочнику процедур (code); специализацию врача, выполняющего процедуру; временные рамки выполнения (timeofexecution) процедуры, тип процедуры (typeof). Формальное описание с использованием доменно-специфического языка показано на рис.4.

Главная проблема состоит в том, каким образом интерпретатор языка преобразует в поток, обеспечивая связь со множеством работающих подсистем, сервисов, отвечающих за выполнение активностей.

На первом шаге интерпретации, доменно-специфическое описание преобразуется в нормализованный поток, состоящий из базовых активностей WWF. Связь с сервисами базируется на использовании активностей `CallExternalMethod` и `HandleExternalEvent`, которые обеспечивают входящие и выходящие связи потока со внешним миром, опосредованном в нашем случае коммуникационным сервисом:

первая позволяет передать из потока информацию во внешний метод, вызывающий соответствующий метод сервиса; вторая обеспечивает реакцию на событие от внешнего компонента-сервиса, в нашем случае сервиса, отвечающего за ведения операций. Как видно, сервисная архитектура является неотъемлемой частью такого решения. Интерпретатор потоков, является компонентом сервиса-дирижера, определяющего взаимодействие подчиненных сервисов и точкой входа создания потока работ.

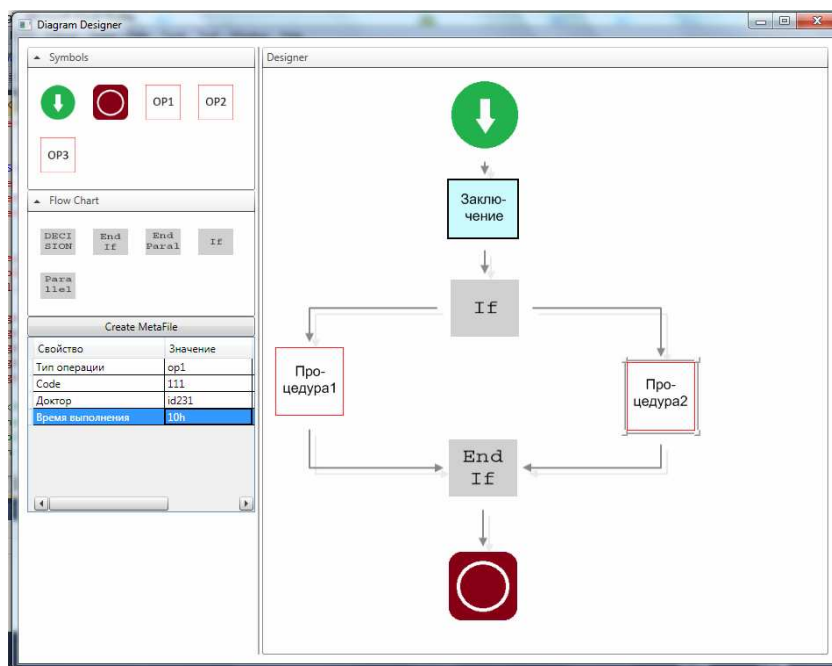


Рисунок 3 - Пример графической нотации простого алгоритма

```

CREATE RESULT
DECISION
  OP1
    CODE:1
    DOCTORID:11
    TIMEOFEXECUTION:10h
    TYPEOF:OP1
  ENDOF
  OP2
    CODE:111
    DOCTORID:id231
    TIMEOFEXECUTION:10h
    TYPEOF:OP1
  ENDOF
ENDDECISION

```

Рисунок 4 - Пример кода, заданного в доменно-специфичной нотации

Выводы. В данной работе рассмотрен вариант разработки подсистемы управления потоками работ на базе технологии WWF. Предлагаемый вариант построения системы позволяет управлять потоками работ, в виде понятном для конечного пользователя (менеджера,

эксперта-медика), добиться гибкости медицинской информационной системы с поддержкой контроля качества и стоимости лечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березницкий Я.С., Бойко В.С., Брусницина М.П. и др. Клинические рекомендации для врачей по вопросам организации и оказания медицинской помощи больным с острыми хирургическими заболеваниями органов живота (ведомственная инструкция). – Киев – 2004. – 353 с.
2. Wil van der Aalst, K.M. van HeeM. Workflow Management: Models, Methods, and Systems. IT press, Cambridge, MA, 2002. – 384 p.
3. Брежнев А.И., Литвинов А.А., Павленко М.В. "Основные требования к системе управления потоками работ для оценки качества и стоимости лечения". - Донецк ДНТУ 2010, Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг, Збірка матеріалів І всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених - том 1, с. 38-39.
4. Business Process Model and Notation. Version 2.0. 2011-01-03. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>.
5. Дзяк Г.В., Березницкий Я.С., Филиппов Ю.А. и др. Библиотека практического врача. Унифицированные клинико–статистические классификации болезней органов пищеварения (ведомственная инструкция). – Киев, 2004. – 93 с.
6. Литвинов О. А. Формалізація клінічного діагнозу і модель електронної класифікації діагнозів для Медичних Інформаційних Систем України. // Системные технологии. –№ 2(49). – Днепропетровск, 2007. - С.46-56.
7. K. Scott Alen. Programming Windows Workflow Foundation: Practical WF Techniques and Examples Using XAML and C#. 2006. P.249.

Получено 20.01.2011г.

О.С. Войтенко, Н.А. Карнаух

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Анотація. Мета роботи полягала у розробці алгоритму визначення ряду регресійних моделей прогнозування заданих показників та у визначенні найбільш ефективного критерію оцінки результатів роботи отриманих моделей. Для вирішення проблеми визначення оптимальної структури моделі прогнозування розроблена система підтримки прийняття рішень для аналізу та прогнозування часових рядів. Предметна область системи – ряди даних макроекономічних показників. Вихід системи – найкраща модель для даного ряду у класі регресійних моделей та показники якості отриманих моделей.

Вступ

Перехід національної економіки від планової до ринкової потребує вдосконалення системи прогнозування економічного та соціального розвитку. Особливе значення при цьому мають макроекономічні прогнози, які використовуються урядом в процесі формування економічної політики та бюджету. Прогнози, що розробляються, повинні бути обґрунтованими та служити надійним інструментом прийняття управлінських рішень, а також відповідати вимогам сучасної світової економічної практики. Існують методики для вирішення задачі прогнозування, але вибір кращої методики залежить від вибірки даних та критерію, що підлягає оптимізації [1]. Мета цієї роботи полягає у розробці алгоритму визначення структури регресійних моделей для прогнозування та у визначенні ефективного критерію оцінки отриманих моделей. Оскільки на зміну значень макроекономічних показників впливають зовнішні фактори, реалізуються методи, які будуть це враховувати. Для визначення структури прогнозуючої моделі розроблена система підтримки прийняття рішень (СППР). Для фільтрації даних застосовується метод експоненційного згладжування. У процесі роботи система будує кращу модель, обробляючи дані

згідно сформованих експертом правил. Для тестування функціональності реалізованої системи підтримки прийняття рішень в якості вхідної залежної змінної використовується грошовий агрегат М1.

Вихід системи – краща модель для даного ряду у класі регресійних моделей (АР – авторегресія, АРКС – авторегресія із ковзним середнім, АРІ – інтегрована авторегресія, АРІКС – авторегресія з інтегрованим ковзним середнім, АРКСР – авторегресія із ковзним середнім розширена) та показники якості отриманих моделей. Вибірка для тестування роботи системи охоплює щомісячні значення основних макроекономічних показників України за період 1996 – 2009 р.

Постановка задачі

Система повинна бути інструментарієм для визначення оцінок майбутніх значень показників економіки України на основі історичних значень. Система призначена для визначення кращої (за статистичними критеріями якості) моделі для оцінювання майбутнього прогнозу. Завантаження вхідних агрегатів (1-го агрегату для авторегресійних моделей) відбувається із файлу типу *.xls. Вихідними даними є математичні описи моделей та показники їх якості.

Необхідно реалізувати моделі таких типів: АР; АРКС; АРІ; АРІКС; АРКСР. Для тестування системи в якості показника, що прогнозується, використовується значення грошової маси України М1. Для визначення параметрів моделі запропоновано використати економічні показники, частина яких наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Опис вхідних агрегатів для моделі АРКСР

TABLESTUB	Опис
Official Rate	Офіційний курс, що встановлюється НБУ, гривня/долар
Total Reserves minus Gold	Золотовалютні резерви НБУ без золота
Deposit Money Banks: Assets	Активи банківської системи
Liabilities	Зобов'язання банківської системи
Foreign Assets	Іноземні активи у національній валюті
Claims on General Government	Вимоги до уряду
M0	грошовий агрегат М0 (готівкові кошти)

M1	M0+чекові депозити
M2	M1+безчекові збереження+невеликі термінові депозити
M3	M2+крупні (більше 100 тис.долю) термінові депозити

Розробка дерева прийняття рішень

Відомі підходи до побудови моделей наведено в [1, 2, 3]. Реалізована СППР будується на основі процедур та алгоритмів, які необхідні для рішення вибраної задачі. Структура дерева прийняття рішень відображена на рис.1.

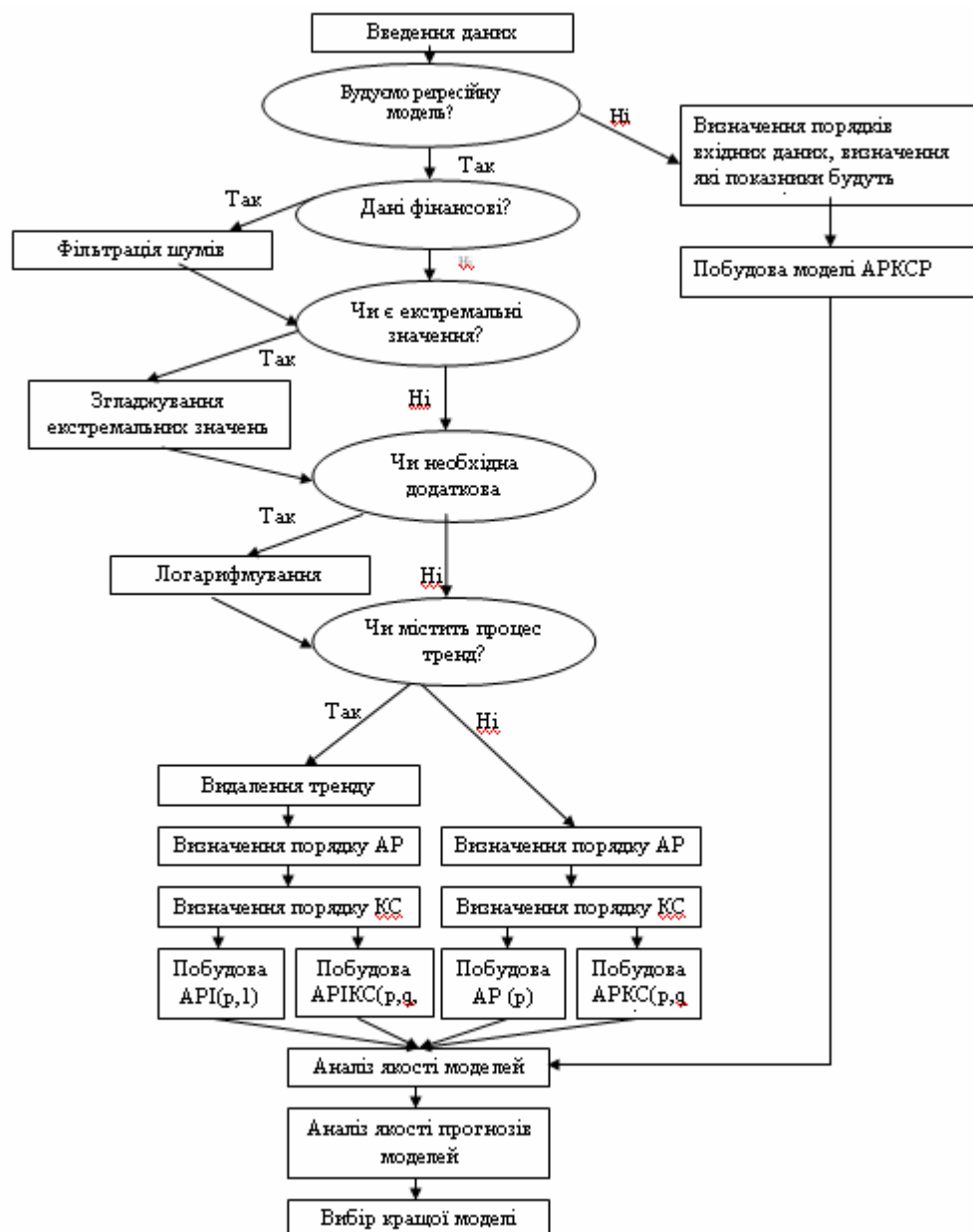


Рисунок 1 - Дерево прийняття рішень

Опис реалізованої системи

Система реалізована в Builder C++, оскільки дане середовище дає можливість реалізувати роботу з файлами, побудову моделей та інше. Завантаження вхідних агрегатів відбувається із файлу типу *.xls. Реалізовані все необхідні регресійні моделі: АР; АРКС; АРІ; АРІКС; АРКСР.

Після запуску програми користувачу необхідно вказати:

1. Вибір типу моделей (авторегресія), введення розмірності вхідного ряду, вибір - дані фінансові чи ні.

2. Адресу файлу із вхідними даними (у відповідному вікні).

Якщо вибрана авторегресійна модель: відображаються кращі за обраним критерієм моделі, а також користувачу надаються прогнозовані оцінки значення показника на наступний період. Надаються характеристики якості отриманих моделей, показники адекватності моделі та математичний опис моделей.

Вихідні дані системи відображені на рис. 2.

Comparative table for the best models' characteristics			
	BY EXPERT'S EVALUATION	BY INTEGRAL CRITERIA	BY FORECAST VALUE
R-squared	0.000	1.000	1.000
Durbin-Watson statistics	1.880	2.400	2.400
Tell's coefficient U	1.000	0.000	0.020
SAPP (standard absolut error)	100.000	0.000	3.160
RMSE	0.033	1.72E3	1.64E3
SSE (sum squared resid)	0.122	3.3E8	3.33E8
Integral criteria value	101.000	0.034	3.210
Included observations	112	112	124
Equations:			
- of the best expert model:	$\log y(k) = \Delta \log y(k) + \log y(k-1) + 0.010 \Delta \log y(k-2) - 0.171 \Delta \log y(k-7) + 0.097 \Delta \log y(k-11) + 0.464 \Delta \log y(k-15)$		
- of the best model by IC:	$y(k) = 156.000 + 1.020 y(k-1) + v(k) + 1.020 v(k-1) + 0.000 v(k-2) + 0.000 v(k-3) + 0.000 v(k-4) + 0.000 v(k-7) + 0.000 v(k-11)$		
- of the best model by forecast:	$\log y(k) = 0.014 + 0.999 \log y(k-1) + v(k)$		

Рисунок 2 - Вихідні дані системи

Якщо після запуску програми необхідно отримати модель АРКСР, то користувачу необхідно реалізувати наступні кроки:

- Вибір типу моделей (АРКСР);
- Введення розмірності вхідного ряду;
- Вибір - дані фінансові чи ні;
- Зчитування даних із файлу.

Вхідне та вихідне вікно для роботи із моделлю АРКСР відображені на рис.3 та рис.4 відповідно.

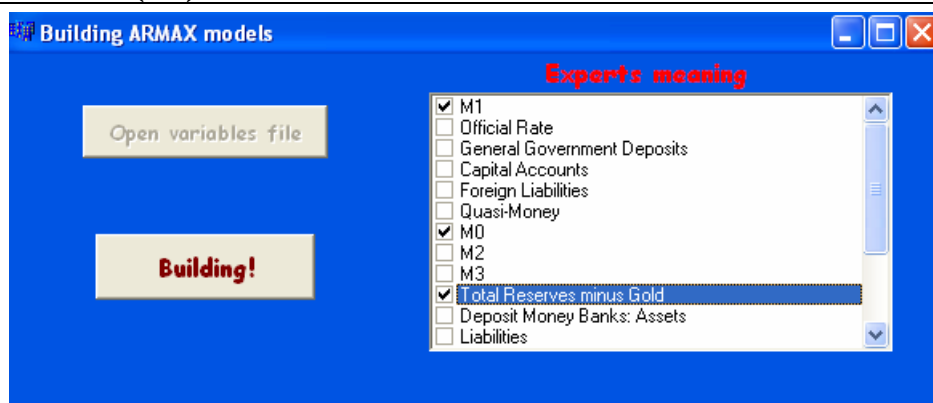


Рисунок 3 - Вхідне вікно для роботи із моделлю АРКСР

Итоги

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЕЙ:

	BY FORECAST	BY EXPERT'S EVALUATION
R-squared	0,857227040944443	0,949357574824318
Durbin-Watson statistics	0,207991728938529	1,0124362772811
Teil's coefficient U	0,0175192959248066	0,0114087185444319
SAPP (standard absolut error)	2,63115629923615	1,76525132886162
RMSE	2630,85577756164	1726,59640848967
SSE (sum squared resid)	207642063,669884	89434054,734283
Integral criteria value	2,82180511092535	1,867397428458
Included observations	30	30

Equations:

- of the best expert model:

$$M1 = 0,692345382546938 * M1[t-1] + 0,182787226678763 * M1[t-2] + 0,812243999793659 * M1[t-3] + 0,0235948708796013 * M1[t-4] + 86,6129588141342 * Official\ Rate[t-2] + 69,8024510418616 * Official\ Rate[t-3] + 62,8931335636891 * Official\ Rate[t-4] + 0,0474182645808529 * General\ Government\ Deposits[t-0] + 0,0285122794439744 * General\ Government\ Deposits[t-1] + 0,0601576353862975 * General\ Government\ Deposits[t-2] + 0,128887913506276 * General\ Government\ Deposits[t-3] + 0,0297539492769473 * General$$

- of the best model by forecast:

$$M1 = 0,527397299213226 * M1[t-1] + 0,213734367153206 * M1[t-2] + 0,555518799578571 * M1[t-3] + 0,489444080230821 * M1[t-4] + 1,18513864355542 * M0[t-0] + 0,590254889464029 * M0[t-1] + 0,351859613070682 * M0[t-2] + 0,270729624323935 * M0[t-3] + 0,345971372268234 * M0[t-4] + 0,323776094128513 * Total\ Reserves\ minus\ Gold[t-0] + 0,0928746937993925 * Total\ Reserves\ minus\ Gold[t-1] + 0,267978380598916 * Total\ Reserves\ minus\ Gold[t-2] + 0,0673886886531783 * Total\ Reserves\ minus$$

Рисунок 4 - Вихідне вікно для роботи із моделлю АРКСР

Результати роботи системи

Результатами роботи системи є регресійні моделі прогнозування грошового агрегату M1. В якості критерію оцінювання результатів моделей були запропоновано такі критерії: (1) оцінювання результатів прогнозування (відхилення від реальних показників); (2) інтегральний критерій оцінювання роботи моделі [1].

Інтегральний критерій для оцінювання результатів моделювання і прогнозування включає такі статистичні критерії якості:

- середньоквадратична похибка (СП), коефіцієнт детермінації (R2), коефіцієнт Дарбіна-Уотсона (DW);

- середня абсолютна похибка в процентах (САПП), сума квадратів похибок прогнозу (СКП), коефіцієнт Тейла (U) –

оцінювання якості прогнозів.

Враховуючи на особливості цих критеріїв якості, запропоновано наступний вигляд інтегрального критерію.

$$IK = \frac{1}{6} \left(\alpha \left((1 - R^2) \left((2 - DW) \left(2 + \frac{\sum_{k=1}^N e^2(k)}{\sqrt{(N)} \sum_{k=1}^N (\tilde{y}(k))^2 \sum_{k=1}^N (y(k))^2} \right) \right) + \beta (САПП + U + \frac{СКП}{\sum_{k=1}^N (\tilde{y}(k))^2 \sum_{k=1}^N (y(k))^2} \right) \right) \quad (1)$$

Результати роботи системи для запропонованого ряду місячних показників грошового агрегату М1 наведено нижче.

Краща модель за інтегральним критерієм:

$$y(k) = 156,00 + 1,02 * y(k-1) + v(k) + 1,02 * v(k-1) + 0,00 * v(k-2) + 0,00 * v(k-3) + 0,000 * v(k-4) + 0,00 * v(k-7) + 0,00 * v(k-11) \quad (2)$$

Краща модель за результатом прогнозування:

$$\log y(k) = 0,014 + 0,99 * \log y(k-1) + v(k) \quad (3)$$

Таблиця 2

Результати роботи системи.

Критерій	Інтегральний критерій	Результати прогнозування
Коефіцієнт детермінації	0,86	0,95
Коефіцієнт Дарбіна-Уотсона	0,21	1,01
Коефіцієнт Тейла	0,02	0,01
Середня абсолютна похибка в процентах	2,63	1,76
Середньоквадратична похибка	2630	1726
Сума квадратів похибок прогнозу	207642063	89434054
Інтегральний критерій	2,82	1,87

Таким чином, побудована модель високого ступеня ефективності, яка дає можливість отримати високоякісний прогноз із САПП=1,76%.

Висновки

Показник грошової маси має важливе значення для економічної стабільності, оскільки зміна об'єму цього показника може суттєво вплинути на реальний випуск ВВП, рівень цін, зайнятість та інші економічні змінні. Запропонована система підтримки прийняття рішень для прогнозування макроекономічних показників за регресійними моделями; при цьому реалізуються різні структури моделей. Враховані залежності між даними, що прогнозуються, та вхідними

даними для визначення параметрів моделі. Отримана кращі моделі для даного ряду у класі регресійних моделей (АР, АРКС, АРІ, АРІКС, АРКСР). Структура моделі формується згідно правил, які відображені на дереві рішень. Затримка при обробці даних і побудові моделей складає декілька секунд і пов'язана із зчитуванням даних із файлів. Результати роботи системи, згідно показників адекватності моделей, свідчить про високу ефективність застосованої системи. Для моделей типу АРКСР показник інтегрального критерію становить порядку 2-х одиниць, а для регресійних моделей – 3-х одиниць.

У подальших дослідженнях необхідно ввести в систему методи оцінювання нелінійних моделей, які дадуть можливість суттєво розширити можливості системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бідюк П.І., Меньяйленко О.С., Половцев О.В. Методи прогнозування. - Луганськ: Альма-матер, 2008. – 620с.
2. Івахненко О.Г. Індуктивний метод самоорганізації моделей складних систем. - Київ: Наукова думка, 1982. – 296с.
3. Лукашин Ю.П. Адаптивні методи короткострокового прогнозування. Москва: Фінанси і статистика, 2003. – 415с.
4. http://firm.trade.spb.ru/serp/new_es/index.htm Лекції з курсу “Експертні системи» Санкт-петербурзької лісотехнічної академії
5. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008.-341 с.

Одержано 24.01.2011р.

СОДЕРЖАНИЕ

ОГИНСКИЙ И.К.

Объемные перемещения металла при прокатке в четырехвалковом калибре3

СЕЛИВЁРСТОВ В.Ю., МИХАЙЛОВСКАЯ Т.В.

Расчет размеров прибылей отливок, изготавливаемых с использованием комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева 11

РАХМАНОВ С.Р., УДОВИК П.В.

К вопросу определения формы образующей оправки прошивного прессы 18

ИВАНОВА А.П., КАРЯЧЕНКО Н.В.

К вопросу о синтезе кривошипно - шатунного механизма привода клетки станов ХПТ по углу давления 32

КАЛІНІНА Н.Ю.

Інваріантні характеристики кольорових RGB-Зображень 39

СОЛОВЬОВ Д.І.

Математичне моделювання високодисперсної водяної завіси в гірничій виробці 45

ГНАТУШЕНКО В.В., СУЩЕВСЬКИЙ Д.В.

Геометрична векторна модель візуалізації змін об'єктів штучного походження 53

МАЗОРЧУК В.Ф., СЕЛИВЕРСТОВ В.Ю., ДОЦЕНКО Ю.В., ДОЦЕНКО В.П.

Влияние плавающей прибыльной вставки на плотность литого металла 60

ЗОЛотовСКАЯ Е.В.

Определение аэродинамических харктеристик в пиролизной камере 65

ГРЕС Л.П., КАРПЕНКО С.А., ЕРЕМИН А.О., САМОЙЛЕНКО Т.В., КАРАКАШ Е.А., БЫСТРОВ А.Е., ФЛЕЙШМАН Ю.М., ВОЛКОВА М.М.

Системный подход к разработке системы автоматического регулирования (САР) тепловой работы доменных воздухонагревателей 73

ДЖУР Е.А., ЛЕДНЯНСКИЙ А.Ф., БОНДАРЕНКО О.В.

О возможности использования мощностей литейных цехов для выплавки деформируемых алюминиевых сплавов 78

КАРАБУТОВ Н.Н., КАРАБУТОВ П.Н.

Оценка структуры гистерезисных элементов в статических системах 87

ЛЮБЧИК Л.М., КОНОХОВА Ю.В.

Модель процесса формирования капитала non-life страховщика с учетом его инвестиционной деятельности 95

МАТВЕЕВА Н.А.

Вероятностные нейронные сети в задачах класификации дефектов 101

СОПІЛЬНИК О.В., МАРТИНОВА М.Л.

Імітаційне моделювання процесів електропровідності в композитних матеріалах107

ХАНДЕЦЬКИЙ В.С., ТОНКОШКУР Ю.О.

Математична модель для визначення електричної провідності шару порошкового матеріалу при безконтактних вимірюваннях115

ЛИТВИНОВ А.А., БРЕЖНЕВ А.И., ГАВРИЛЮК Ю.В.

Особенности построения подсистемы управления потоками работ стационарного лечебного учреждения122

ВОЙТЕНКО О.С., КАРНАУХ Н.А.

Побудова системи підтримки прийняття рішень для аналізу та прогнозування часових рядів129

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.771

Огінський Й.К. **Об'ємні переміщення металу при прокатці в чотирьохвалковому калібрі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.3 – 10.

Виконано аналіз деформаційних особливостей осередку деформації при прокатці в чотирьохвалковому калібрі, у результаті аналізу трансформації базового обсягу металу (одиночного обсягу) виявлені характерні обсяги осередку деформації, установлені функціональний взаємозв'язок між ними. Введені додаткові параметри й характеристики осередку деформації – основні, які включають нові характерні обсяги, і допоміжні: лінійні, кутові й безрозмірні параметри. На основі встановлених взаємозв'язків деформаційних параметрів стає можливим внести уточнення в недостатньо розкриті питання теорії прокатки, використання виявлених закономірностей дозволяє створити більш точні методи розрахунків кінематичних і енергосилових параметрів прокатки для розв'язання прикладних завдань.

Бібл. 13, іл.5.

УДК 621.74.04

Селівьорстов В.Ю., Михайловська Т.В. **Розрахунок розмірів надливів виливків, що виготовляються з використанням комбінованої технології газодинамічного впливу і електрошлакового обігріву** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.11 – 17.

Представлено методику розрахунку розмірів надливів виливків циліндричної форми, що тверднуть при електрошлаковому обігріві металу і газодинамічному впливі. Наведено номограми для визначення розмірів надливів виливків з вуглецевої сталі за їх масою при різному співвідношенні діаметра виливка до діаметру надливу.

Библ. 10, илл. 4, табл. 1.

УДК 621.774.35

Рахманов С.Р., Удовик П.В. **К вопросу Определения формы образующей Оправки прошивного прессы** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.18 – 31.

Решена многофакторная вариационная задача о форме рабочей поверхности оправки минимального осевого сопротивления, выполненного в виде осесимметричного тела вращения для прошивки трубных заготовок на прошивном прессе.

Библ. 7, илл. 3, табл. 0.

УДК 621.373: 62-231.311

Іванова Г.П., Каряченко Н.В. **До питання що до синтезу кривошипно - шатунного механізму привода кліті станів ХПТ за кутом тиску** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.32 – 38.

У статті виведено ряд залежностей між лінійними і кутовими параметрами кривошипно-шатунного механізму привода кліті станів ХПТ. Приведена методика вирішення задач проектування таких механізмів за допомогою отриманих формул. Розглянутий приклад рішення.

Бібл. 6, іл. 3.

УДК 528.854

Калініна Н.Ю. **Інваріантні характеристики кольорових RGB-зображень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.39 – 44.

У роботі запропоновано новий підхід до визначення інваріантних до геометричних та фотометричних перетворень інформаційних характеристик кольорових растрових зображень. Це дозволило підвищити точність автоматизованої ідентифікації цифрових кольорових зображень.

Бібл. 5.

УДК 622.807.2:66.074.5

Соловьёв Д.И. **Математическое моделирование высоко дисперсной водяной завесы в горной выработке** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.45 – 52.

Предложена математическая модель высокодисперсной водяной завесы непроницаемой для запыленного воздуха в горной выработке. Уравнение движения и тепломассообмена капель с воздухом решено численно. Определены термодинамические параметры воздуха, зона орошения и осаждения на подошву выработки капель.

Библ. 11, рис. 5.

УДК 528.854

Гнатушенко В.В., Суцевский Д.В. **Геометрическая векторная модель визуализации изменений объектов искусственного происхождения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.53 – 59.

В работе предложен новый метод идентификации изменений объектов искусственного происхождения по фотограмметрическим изображениям на основе разработанной геометрической модели разновременных объектов. Введено понятие взаимной локализации для формализации процесса визуализации изменений объектов.

Библ. 2.

УДК 621.746:669-14

Мазорчук В.Ф., Селиверстов В.Ю., Доценко Ю.В., Доценко В.П. **Влияние плавающей прибыльной вставки на плотность литого металла** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.60 – 64.

Наведені результати досліджень густини литого металу злитку відлитого з надливною вставкою, що плаває, та злитку відлитого за технологією фасоносталеливарного цеху ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Встановлено збільшення густини литого металу у злитку, відлитого з використанням надливної вставки, що плаває.

Бібл. 8.

УДК 532.5.072

Золотовская Е.В. **Определение аэродинамических характеристик в пиролизной камере** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.65 – 72.

В статье приводятся расчетные и экспериментальные зависимости гидродинамических параметров псевдооживленного слоя, в котором реализован процесс низкотемперату-

рного пиролиза. Установлена область устойчивого псевдоожигания, в которой колебательными движениями теплоносителя можно управлять и таким образом управлять эффективностью тепломассообменных процессов в пиролизной камере.

Библ. 5.

УДК 669.162.231.085 (9088.8)

Грес Л.П., Карпенко С.А., Єрьомін О.О., Самійленко Т.В., Каракаш Є.О., Бистров А.Є., Флейшман Ю.М., Волкова М.М. **Системний підхід до розробки системи автоматичного регулювання (САР) теплової роботи доменних повітрянагрівників** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.73 – 77.

У статті розглянуто теперішній стан автоматизації теплової роботи повітрянагрівників доменних печей. Вказані недоліки рівня автоматизації і наведені шляхи їх усунення за допомогою мат. моделі та мікропроцесорної техніки.

Бібл. 2.

УДК 669.715: [621.745.3+669.183.218.5]

Джур Е.А., Леднянский А.Ф., Бондаренко О.В. **О возможности использования мощностей литейных цехов для выплавки деформируемых алюминиевых сплавов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.78 – 86.

В статье рассмотрена возможность и ориентировочно определены объемы выплавки деформируемых алюминиевых сплавов с использованием мощностей литейных цехов машиностроительных заводов. Проанализированы технические возможности плавильных печей, которыми располагают литейные цехи машиностроительных заводов. Определены размеры листов и профилей, которые могут быть получены из слитков различной массы.

Бібл. 4.

УДК 681.5.015

Карабутов М.М., Карабутов П.М. **Оцінка структури гістерезисних нелінійностей в статичних системах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.87 – 94.

Запропоновано метод структурної ідентифікації статичних об'єктів, які містять гістерезисні нелінійності. Впроваджені структури, які дозволяють приймати рішення по типу та параметрах нелінійності.

Бібл. 9, іл. 2.

УДК 519.865

Любчик Л.М., Конохова Ю.В. **Модель процесу формування капіталу non-life страховика з урахуванням його інвестиційної діяльності** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.95 – 100.

Розроблено модель, що описує процес формування капіталу non-life страховика, що є результатом як його страхової, так і інвестиційної діяльності. У моделі знайшли вираження вирахування компанії, що можуть підвищити обсяг страхових внесків, а також і виплати прибутків господарям компанії.

Бібл. 4.

УДК 621.3

Матвеева Н.О. **Імовірнісні нейроні мережі у задачах класифікації дефектів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.101 – 106.

Розглянуто можливість застосування імовірнісних нейронах мереж для класифікації сигналів дефектоскопії. Навчена нейрона мережа промодельована на перевіірочній множині зашумованих сигналів.

Бібл. 8.

УДК 543.422:621.352

Сопильник А.В., Мартынова М.Л. **Имитационное моделирование процессов электропроводности в композитных материалах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.107 – 114.

Разработано программное обеспечение и проведено имитационное моделирование электропроводности графитового композита с использованием метода Монте-Карло для двух типов решетки матрицы. Результатом работы является определение пороговой концентрации составляющих, при которой ток проводимости прекращается.

Библ. 4, рис. 1.

УДК 620.179: 681.3

Хандецкий В.С., Тонкошкур Ю.А. **Математична модель для визначення електричної провідності шару порошкового матеріалу при безконтактних вимірюваннях** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.115 – 121.

Розроблено математичну модель, яка дозволяє наближено, але в аналітичному вигляді розрахувати еквівалентну електричну провідність шару порошкового матеріалу за результатами безконтактних вимірів у вихоровому магнітному полі. Одержані результати дозволили визначити провідність порошків MnO, одержаних при різних температурах відпалу.

Бібл.4, табл.2, іл.3.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Брежнев О.И., Гаврилюк Ю.В. **Особенности построения подсистемы управления потоками работ стационарного лечебного заведения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.122 – 128.

В работе рассмотрены особенности построения подсистемы управления потоками работ стационарного лечебного заведения. Описана роль подсистемы с учетом общего направления контролю качества та ціни лікування. Рассмотрены ряд проблем, которые являются барьером для эффективного использования уже готовых решений. Далее, предложено вариант подсистемы, направленной на решение задачи контроля потоков работ конечным пользователем, который использует в качестве основы платформу Windows Workflow Foundation.

Бібл. 7, рис.5.

УДК 519-866

Войтенко О.С., Карнаух Н.А. **Побудова системи підтримки прийняття рішень для аналізу та прогнозування часових рядів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 1. – Днепропетровск, 2011. – С.129 – 135.

Мета роботи полягала у розробці алгоритму визначення ряду регресійних моделей прогнозування заданих показників та у визначенні найбільш ефективного критерію оцінки результатів роботи отриманих моделей. Для вирішення проблеми визначення оптимальної структури моделі прогнозування розроблена система підтримки прийняття рішень для аналізу та прогнозування часових рядів. Предметна область системи – ряди даних макроекономічних показників. Вихід системи – найкраща модель для даного ряду у класі регресійних моделей та показники якості отриманих моделей.

Бібл. 5.

UDC 621.771

Oginsky Y.K. **Volumetric movement of metal during rolling in four-roll pass** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.3 – 10.

The analysis of deformation features of the deformation zone during rolling in four-roll pass has been performed, results of analysis of transformation of basic volume of metal (unit volume) revealed the typical volume of deformation zone, and functional relationship between them has been established. Additional features and characteristics of the deformation zone have been introduced – the main, that include the new, revealed characteristic volumes, and secondary: linear, angular, and the dimensionless parameters. Basing on the established relationships of deformation parameters, it becomes possible to clarify the open questions in the theory of rolling, usage of revealed patterns makes creation of more accurate calculation methods of kinematic and energy-power parameters of rolling for various applications possible.

Ref.13, pic.5.

UDC 621.74.04

Selivorstov V., Mikhaylovskaya T. **Calculation of profits dimensions castings are produced using combined effects of gas-dynamics technology and heating electroslag** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.11 – 17.

A method for calculating the size of profits casting cylindrical solidified in electroslag heating metal and gas-dynamic effects. Shows a nomogram for determining the amount of profit the casting of carbon steel on its mass for different ratios of the diameter of the casting to the diameter of profit.

Bibl. 10, pic. 4, tabs. 1.

UDC 621.774.35

Rakhmanov S.R., Udovik P.V. **On the question of determining the shape forming mandrels piercing press** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.18 – 31.

Multifactorial variation problem is solved on the form of the working surface of the mandrel minimum axial drag, made in the form of an axisymmetric body of revolution for the firmware billets for broaching press.

Bibl. 7, pic.3.

UDC 621. 373: 62-231. 311

Ivanova A.P., Karyachenko N.V. **To the question about a synthesis of crane lifting mechanism of figures of of the Cold Rolling of Pipes (CRP) on the corner of pressure** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.32 – 38.

In the article the row of dependences is shown out between the linear and angular parameters of crane lifting mechanism of drive of cage of figures of the Cold Rolling of Pipes (CRP). The method of decision of tasks of planning of such mechanisms is resulted by the got formulas. The example of decision is considered.

Bibl. 6, il. 3.

UDK 528.854

Kalinina N.Ju. **Invariants of colour RGB-images** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.39 – 44.

The work is devoted to refinement the invariant information model for identification of color raster images. It has allowed to increase accuracy of the automated identification of digital color images.

Bibl. 5.

UDC 622.807.2:66.074.5

Solovjov D.I. **Mathematical model superfine a water in excavation** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.45 – 52.

The mathematical model superfine a water curtain impenetrable for dusty air in excavation. The equation of movement and heat-mass exchange a thaw with air is solved numerically. Thermodynamic parameters of air, an atomization and sedimentation zone on floor of working of drops are defined.

Bibl. 11, ill. 5.

UDK 528.854

Gnatushenko V.V., Sushevskyy D.V. **Geometric vector model of change detection visualization man-made objects** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.53 – 59.

The new change detection technique of man-made was proposed. The technique uses objects using photogrammetric images is based on developed temporal objects' geometric model. The concept of mutual localization was brought for change detection and visualization process' formalization.

Bibl. 2.

UDC 621.746:669-14

Mazorchuk V.F., Seliverstov V.Yu., Dotsenko Yu.V., Dotsenko V.P. **Effect of floating profit inserts on the density of molten metal** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.60 – 64.

Results of researches of density of cast metal of an ingot of is cast with use of a floating top insert are presented, and an ingot cast on technology Open joint-stock company "INTERPAIP NTZ". The increase in density of cast metal in an ingot cast with use of a floating top insert is established.

Bibl. 8.

UDC 532.5.072

Zolotovskay E.V. **Determination of Aerodynamic Characteristics of a pyrolysis chamber** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.65 – 72.

In clause settlement and experimental dependences of hydrodynamical parameters fluidized a layer in which process low-temperature pyrolysis is realized are resulted. The area steady fluidized in which oscillatory movements of the heat-carrier can be operated and thus to operate efficiency heat-and-mass transfer processes in a vertical pipe is established

Bibl. 5.

УДК 669.162.231.085 (9088.8)

Gres L.P., Karpenko S.A., Yeryomin A.O., Samoilenko T.V., Karakash Ye.A., Bistrov A.Ye., Fleishman Yu.M., Volkova M.M. **The systematic approach to the system automating control**

(SAC) elaboration of the heat work blast stoves // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.73 – 77.

This article has deal with a modern situation heat work automatization of blast stoves. Shown limitations of level automatization and shown the ways its illimination with mathmodels and microprocessors help.

Bibl. 2.

UDC 669.715: [621.745.3 +669.183.218.5]

Dgur E.A., Lednyansky A.F., Bondarenko O.V. **The possibility of using the power of the foundry for smelting wrought aluminum splavovanie** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.78 – 86.

In article possibility is considered and volumes of melt of deformable aluminum alloys with use of capacities of foundry shops of machine-building factories are roughly defined. Technical possibilities of melting furnaces which have foundry цехи machine-building factories are analysed. The sizes of sheets and profiles which can be received from ingots of various weight are defined.

Bibl. 4.

UDC 681.5.015

Karabutov N.N. **Estimation of structure hysteresis elements in static systems** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.87 – 94.

The method of structural identification of the static objects containing hysteresis of nonlinearity is offered. The structures are entered, allowing to make the decision on a kind and nonlinearity parameters.

Bibl. 9.

UDC 519.865

Lyubchyk L.M., Konokhova Y.V. **The model of non-life insurer capital design, taking in account the income both from its insurance and from investment activities** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.95 – 100.

The paper is devoted to the consideration of the non-life insurer's capital formation model, as a result of both it's insurance and investment activities. The model takes into account costs, allowing indirectly increase the influx of insurance payments, and payment of income to the owners.

Bibl. 4.

UDC 621.3

Matveyeva N.A. **Probabilistic neural networks in problems classification of defects** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.101 – 106.

The possibility of application of probabilistic neural networks for signal classification are considered. Trained neural network is modelled on the check set of the signals with noise.

Bibl. 8.

UDC 543.422:621.352

Sopilnik A.V., Martunova M. L. **Imitational modeling of electro conducting processes in composites** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.107 – 114.

Software creation and imitational modeling of the current flow in the graphite composites are realized by Monte Carlo method for two types of matrix grid. The main result - the process simulation of current flow in the composite material with percolation threshold determine.

Bibl. 4, ill.1.

UDS 620.179: 681.3

Khandetsky V.S., Tonkoshkyr U.A. **Mathematical model for definition of electrical conductivity of powder material layer using non-contact measurements** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.115 – 121.

Analytical mathematical model for approximate calculation of equivalent electrical conductivity of powder material layer using non-contact eddy-current measurements are developed. Received results allowed us to define the conductivity of the MnO powders obtained at different annealing temperatures.

Bibl.4, tabl.2, ill. 3.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Brezhnev A.I, Gavriluk Y.V. **The specific of design of the hospital workflow management subsystem** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.122 – 128.

The given work is devoted to hospital workflow management subsystem design and realization. First, the place of the subsystem, considering the field of treatment quality and cost controlling, is defined and the problems making a barrier for its effective realization are provided and discussed. Then, a variant of solution which is primarily focused on end-user controlling of workflows based on Windows Workflow Foundation is suggested and described.

Bibl. 7, ill. 5.

UDC 519-866

Voitenko O.S., Karnaukh N.A. **Building a decision support system for analyzing and forecasting time series** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.129 – 135.

The purpose of this work was to develop the algorithm for determining a series of regression models to predict the specified parameters and to determine the most effective criteria for evaluating the results of the obtained models. To solve the problem of determining the optimal structure of the forecasting model the decision support system for analyzing and forecasting time series has been developed. Subject area of the system - the data series of macroeconomic indicators. Output of the system - the best model for the considered series in the class of regression models and indicators of the quality of the resulting models.

Bibl.5.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Огинский Иосив Кузьмич – к.т.н., ст. научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением, НМетАУ.

Селиверстов Вадим Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры литейного производства, НМетАУ.

Михайловская Татьяна Витальевна – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Рахманов Сулейман Рахманович – НМетАУ.

Удовик Павел Валентинович – студент гр. КМ – 06М, НМетАУ.

Иванова Ганна Павлівна – к.т.н., доцент кафедри будівельної механіки НМетАУ.

Каряченко Наталія Василівна - к.т.н., доцент кафедри теоретичної механіки НМетАУ.

Калинина Наталья Юрьевна — аспирант кафедры Информационных технологий и систем, Национальной металлургической академии Украины.

Соловьёв Д.И. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Гнатушенко Владимир Владимирович — д.т.н., профессор кафедры электронных средств телекоммуникаций Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара.

Суцевский Дмитрий Валерьевич — аспирант кафедры электронных средств телекоммуникаций Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара.

Мазорчук Владимир Федорович - доцент, кандидат технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, кафедра литейного производства.

Селиверстов Вадим Юрьевич - доцент, кандидат технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, кафедра литейного производства.

Доценко Юрий Валериевич - доцент, кандидат технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, кафедра литейного производства.

Доценко Вадим Павлович - доцент, кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, кафедра технологии и управления литейными процессами.

Золотовская Е.В.

Грес Л.П. - Национальная металлургическая академия Украины.

Карпенко С.А. - Национальная металлургическая академия Украины.

Єрьомін О.О. - Национальная металлургическая академия Украины.

Самойленко Т.В. - НМетАУ.

Каракаш Є.О. - Национальная металлургическая академия Украины.

Бистров А.Є. - Национальная металлургическая академия Украины.

Флейшман Ю.М. – НметАУ.

Волкова М.М. - Национальная металлургическая академия Украины.

Джур Евгений Алексеевич - доктор технических наук, профессор. Заведующий кафедрой технологии производства летательных аппаратов физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара.

Леднянский Александр Федорович - кандидат технических наук. Доцент кафедры технологии производства летательных аппаратов физико-

технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

Бондаренко Олег Витальевич - кандидат технических наук. Доцент кафедры технологии производства летательных аппаратов физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

Карабутов Николай Николаевич — профессор кафедры "Проблемы управления" Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета), д.т.н., профессор, лауреат Госпремии РФ.

Карабутов Павел Николаевич — аспирант Московской государственной академии водного транспорта.

Любчик Леонид Михайлович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Конохова Юлия Валерьевна - ассистент кафедры компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Матвеева Наталия Александровна – к.т.н., доцент каф. ЭВМ, ДНУ.

Сопильник А.В. - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Мартынова М.Л. - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Хандецкий В.С. - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Тонкошкур Ю.А. - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Литвинов А.А. - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Брежнев А.И. - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Гаврилюк Ю.В. - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Войтенко О.С. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Карнаух Н.А. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».