

УДК 622.28.044:622.831

Г.І. Ларіонов

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК АНКЕРАМИ З ПОПЕРЕДНІМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Аннотация. В работе представлены результаты математического моделирования процессов происходящих в системе «анкерная штанга – фиксирующий состав – горная порода» с учетом глубины расположения выработки и предварительного натяжения анкерных штанг. Приведена формула, связывающая параметры анкерного крепления: глубину расположения горной выработки, подлежащей креплению, величину предварительного натяжения анкерных штанг, длину и диаметр штанг, а также критерий определяющий, зону горных пород с необходимой степенью сжатия и обеспечивающий устойчивость пород в окрестности горной выработки.

Вступ. Для подолання енергетичної залежності України і диверсифікації енергетичних джерел прийнято програму на збільшення темпів видобутку вугілля. В надрах України знаходяться великі запаси якісного вугілля, але здебільшого воно знаходиться на великих глибинах. Видобуток його за традиційною технологією кріплення рамами гірських виробок, виявляється збитковим. Застосування анкерного кріплення на великих глибинах дозволяє підтримувати стійкість гірських виробок і цим забезпечує необхідний рівень безпеки та на порядок покращує економічні показники його видобутку [1]. Головна проблема, яка потребує серйозного дослідження - забезпечення достатнього рівня безпеки видобутку вугілля на великих глибинах.

Досвід використання анкерного кріплення з механічним замком для фіксації анкерної штанги у шпурі показав необхідність вживати для фіксації хімічні фіксуючі суміші. Так для фіксації анкерної штанги у шпурі використовувалися як однокомпонентні, так і двокомпонентні фіксуючі суміші, але з одним терміном затвердіння. Попереднє навантаження у цьому випадку не призводило до фіксації стиснених гірських порід у околі шпура.

© Ларіонов Г.І., 2009

Незважаючи на отриману ефективність від застосування анкерного кріплення з механічним та хімічним закріпленням у шпурі, від нього відмовились. Основними причинами, які призвели до такого рішення, став низький опір поперечним рухам порід покрівлі, втрати несучої здатності за слабких порід покрівлі, низька корозійна здатність [2-3] та раптовий характер відмови його під дією гірського тиску, що є неприйнятним з точки зору безпеки проведення гірських робіт.

Актуальність. Поява міцних двокомпонентних фіксуючих сумішей та ефективних технологій для встановлення анкерних штанг у шпур призвели до широкомасштабного застосування метало-полімерних анкерів для кріплення гірських виробок різного призначення.

Попереднє навантаження анкерних штанг обумовило залучення до роботи зафіксованих стиснених порід у їх околі, чим суттєво покращило стійкість гірських виробок і забезпечило високий рівень безпеки та швидкість виїмкових та очисних робіт.

На Україні було прийнято британську технологію кріплення метало-полімерними анкерами [1], за якою у анкерний шпур вводять ампули з фіксуючою двокомпонентною сумішшю двох термінів затвердіння. Ближче до забою шпура розташовують ампулу фіксуючої суміші з коротким терміном затвердіння, а потім ампули з більш значним терміном затвердіння.

Обертаючись, анкерна штанга розриває оболонки ампул і створює умови для перемішування фіксуючої суміші. Досягнувши ампули з найкоротшим терміном затвердіння, розірвавши її оболонку і створивши однорідну суміш анкерна штанга припиняє своє обертання і зупиняється у застиглій суміші. У об'ємі анкерного шпура з сумішшю більш тривалого терміну затвердіння, у цей час, фіксуюча суміш знаходиться у желеподібному стані.

Зупинка обертання анкерної штанги є сигналом для початку створення попереднього її навантаження, яке здійснюється шляхом обертання гайки у парі гайка-гвинт по різьбовій ділянці хвостовика анкерної штанги. Величина осьових зусиль, згідно з нормативними документами прийнятими на Україні, складає 50Кн. Після досягнення необхідного за величиною попереднього навантаження анкерна штанга здійснює фіксацію стиснених гірських порід відносно

стінок шпура. Гірські породи, що знаходяться у околі анкерного шпура опиняються у стислому стані і, більш того, вони опиняються зафіксованими у такому стані. Така технологія встановлення анкерного кріплення, як показує практичний досвід її застосування на вугільних підприємствах України, спроможна забезпечити необхідну стійкість гірських виробок різного призначення.

Досвід використання анкерного кріплення з механічними замками та з хімічною фіксацією засвідчив, що для найпоширеніших гірничо-геологічних умов і схем анкерного кріплення у СРСР [4], найбільш доцільною величиною попереднього натягу було зусилля 5 тон.

Світові лідери з анкерного кріплення - Сполучені Штати Америки використовують два рівня попереднього навантаження анкерних штанг.

За значних швидкостей виїмкових та очисних робіт для підвищення стійкості тонкого шару покрівлі виробки користуються купольною шайбою, яка являє собою частину сфери – купол. Під час встановлення анкерної штанги у шпур попереднє навантаження створюється за рахунок пружної властивості купольної шайби попередньо zdeформованої стискаючими зусиллями стійки(1-2 Кн).

Для кріплення у більш складних гірничо – геологічних умовах величина попереднього навантаження приймається рівною половині від зусиль плинності матеріалу анкерної штанги.

На ДВАТ „Шахта Білоріченська” сумісно з американськими спеціалістами у 2007 році було проведено науковий експеримент з визначення ефективності застосування американської технології в умовах вугільних шахт України.

У рамках цього експерименту вдалося не тільки визначити ефективність застосування американської технології і комплектуючих анкерного кріплення в умовах вугільних шахт України, а й дослідити вплив попереднього навантаження на роботу анкерного кріплення в гірничих виробках. Виявилось, що попереднього навантаження, яке створювалось за рахунок пружності купольної штанги не достатньо для забезпечення стійкості порід покрівлі виробки. Зона стиснених порід у околі купольної шайби незначна і не залучає до протидії гірському тиску породи покрівлі виробки. Стійкість порід покрівлі виробки забезпечило застосування анкерних штанг українського

виробництва з попереднім навантаженням у 5 тон. Таким чином було встановлено - величина попереднього навантаження відіграє важливу роль у забезпеченні стійкості порід покрівлі виробки.

Стосовно довжини метало полімерних анкерів можна стверджувати лише те, що за більшості гірничо – геологічних умов її приймають рівною половині ширини виробки. Тобто довжину анкерних штанг вважають пропорційною геометричним параметрам виробки. До тепер питання про визначення довжини анкерних штанг в залежності від величини попереднього навантаження не розглядалось.

У зв'язку з і збільшенням об'єму видобутку вугілля на глибинах 1000 метрів і більше постає проблема вибору щільності розташування анкерів яка б враховувала вплив глибини розташування виробки на стійкість оточуючих виробку гірських порід підкріплених системами анкерного кріплення з попереднім навантаженням.

Постановка задачі. Користуючись методами механіки суцільного середовища встановити зв'язок щільності розташування анкерів з урахуванням глибини розташування виробки, величини попереднього навантаження та конструктивних параметрів анкерних штанг.

Розв'язок задачі. Розв'язок задачі здійснювався шляхом послідовного розв'язку двох задач[5-7]. Використовуючи розв'язок узагальненої задачі М.Є. Жуковського здійснювалося вивчення процесів перерозподілу навантажень у системі „анкерна штанга – фіксує суміш – гірська порода” та визначався розподіл дотичних напружень на поверхні анкерного шпура. Розв'язок основних рівнянь теорії пружності для анкерного шпура здійснювався у переміщеннях у формі Папковича – Найбера з використанням у якості граничної умови знайдений розподіл дотичних напружень. Розподіл внутрішнього тиску, що діяв на поверхню анкерного шпура і був пропорційний глибині розташування виробки, було взято у якості другої граничної умови. Математичне моделювання процесу взаємодії анкерної штанги з фіксуючою сумішшю та гірською породою дозволило отримати зв'язок між вказаними вище параметрами. Вдалось визначити їх вплив на щільність розташування метало

полімерних анкерів, для гірських порід які можна вважати однорідними у околі виробки, у вигляді наступної формули:

$$a = k_3 \sqrt[3]{\frac{HPd}{J_{place}L}};$$

де: а – відстань між анкерами, що забезпечує стійкість оточуючих виробку гірських порід шляхом створення шару попередньо стиснених порід [м]; k – коефіцієнт апроксимації; Н – глибина розташування виробки, що підлягає кріпленню анкерами з попереднім навантаженням[т]; Р – величина попереднього навантаження[т]; d – діаметр анкерного шпура[м]; J_{place} – рівень інтенсивності дотичних напружень, що забезпечив гарантований рівень стійкості оточуючих виробку гірських порід [па]; L – довжина робочої частини анкерної штанги[м]. Визначення величини рівня інтенсивності дотичних напружень J_{place} , що забезпечив необхідний рівень стійкості за таких, або схожих гірничо – геологічних та гірничо – технічних умов пов’язаний з наступним.

Як відомо, для розв’язання інженерної задачі з визначення конструктивних параметрів будь якої конструкції, у тому числі і анкерної, необхідно визначитись з навантаженнями на неї. Багатоваріантність гірничо геологічних та гірничо – технічних умов у зоні проведення гірничої виробки, що підлягає кріпленню, суттєво ускладнюють визначення рівня навантажень. Існує багато гіпотез, які дозволяють спростити ситуацію, прийнявши ту чи іншу гіпотезу, але безперечним залишається той факт, що навантаження необхідно не обчислювати, а вимірювати у місці проведення виробки. Якщо процес вимірювання ускладнений, то можна скористатись минулим досвідом кріплення виробки у схожих гірничо геологічних та гірничо технічних умовах. Величина інтенсивності дотичних напружень

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}, \quad \text{у даному}$$

випадку є показником енергетичного стану гірських порід у околі анкерного шпура, що виник під дією двох чинників – гірського тиску та попереднього навантаження. Середньо інтегральне значення інтенсивності дотичних напружень належним чином характеризує показник густини енергії стиснення гірських порід в породному об’ємі. Вибравши числове його значення можна визначити радіус породної опори складеної із стиснених порід[7] і навпаки. Так знаючи

щільність розташування анкерів, яка забезпечила стійкість оточуючих виробку порід можна обчислити середнє інтегральне значення інтенсивності дотичних напружень. Так, для умов монтажного ходка західної лави горизонту 670м на ДВАТ „шахта Білоріченська” для анкерної штанги номінального діаметру 25мм і попереднього навантаження $P=5\text{т}$, величина коефіцієнту апроксимації визначилась як $k=4,44$.

Висновки:

1. Отримана формула пов’язує вибір конструктивних параметрів анкерного кріплення як з глибиною розташування виробки, так і з величиною попереднього навантаження анкерних штанг;

2. Відстань між анкерами що забезпечує гарантовану стійкість гірським породам, які оточують виробку, знаходиться у прямій залежності від діаметру анкерного шпура, а відповідно і анкерної штанги. Це означає, що використання анкерних штанг більшого діаметру, за сталого значення всіх інших, дозволить збільшити відстань між анкерами;

3. Оборнена залежність відстані між анкерами від довжини анкерних штанг означає, що збільшення їх довжини, за умов збереження сталої відстані між анкерами, необхідно компенсувати або збільшенням величини попереднього навантаження, або використанням анкерних штанг більшого діаметру;

4. Оборнений характер залежності відстані між анкерами від величини інтенсивності дотичних напружень, що забезпечує гарантовану стійкість гірським породам, які оточують виробку, відповідає основним уявленням геомеханіки і фізичному змісту. Дійсно, чим за меншого значення інтенсивності дотичних напружень оточуючі виробку гірські породи знаходяться у стійкому стані, тим більшою може бути відстань між анкерами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерне кріплення гірничих виробок вугільних шахт/ Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дніпропетровськ, 2002. – С. 372.
2. A. Campoli. Variables affecting polyester resin anchorage performance with United States roof bolting system/ AIMS (Aachen International Mining Symposia).6 and 7. Junlay, 2001, pp. 19-28.
3. T. Lautsh. Roof bolting in three continents-a comparison/ AIMS (Aachen International Mining Symposia).6 and 7 Junlay, 2001, pp. 59-76.
4. Горбачев Т.Ф., Штумпф Г.Г., Стрыгин Б.И. Применение анкерной крепи в подготовительных выработках. Новосибирск, Наука, 1972.- 296.
5. Ларионов Г.И. О применении решения обобщенной задачи Н.Е. Жуковского к исследованию качества закрепления металлополимерного анкера. Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць/ Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України.- Дніпропетровськ, 2007.-вип.68, с.90-98.
6. Ларіонов Г.І. Використання розв'язку узагальненої задачі М.Є Жуковського для визначення напружено – деформованого стану у околі анкерного шпура. Математичні проблеми технічної механіки - 2009/Тези доповідей Міжнародної наукової конференції– 20-23 квітня, Дніпропетровськ-Дніпродзержинськ:2009. – с. 84-86.
7. Ларіонов Г.І. Про вплив глибини розробки та попереднього навантаження на щільність розташування анкерів. Методи розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла Зб. наук. Праць Дніпр. нац. ун-та Вид-тво «Наука і освіта». Дніпропетровськ, 2008.-вип.9, с.115-128.

УДК 681.31

О.С. Волковский, К.А. Каращенко

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В АНТИВИРУСНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВИРУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В WEB-СТРАНИЦАХ

Аннотация. Рассмотрен эвристический алгоритм поиска потенциально опасных команд скриптовых языков, внедренных в web-страницы. Показано, что существующие методики определения вирусных вставок не совершенны. Создана модель эвристико-логической системы для оценки опасности web-страниц. Проведены исследования и доказана научная ценность предлагаемого метода.

Введение

Одним из наиболее опасных путей, по которым вирусы попадают на пользовательский компьютер, является Internet. Главной особенностью этого проникновения является его прозрачность для пользователя в большинстве случаев. При этом он просто открывает в браузере web-страницу, и в этот момент активизируются встроенные в нее коды, написанные на скриптовых языках программирования, таких как Visual Basic Script, JavaScript, WSH, PHP, ActiveX[1].

Постановка задачи

Действующий с 1999 года стандарт HTML 4.01 предполагает возможность вставки исполняемого кода. Возможности перечисленных выше языков программирования с точки зрения нанесения вреда ОС пользователя достаточно широки. Не обязательно внедрять весь код вируса в страницу, достаточно определить тип ОС, скопировать вирусный файл на жесткий диск и запустить его на выполнение. В этом случае идентификация стандартными средствами антивирусного ПО не представляется возможной[3].

Современное антивирусное ПО использует следующие методы обнаружения вторжений:

1. Метод соответствия определению вирусов в словаре;
2. Метод обнаружения странного поведения программ;
3. Метод обнаружения при помощи эмуляции;

4. Метод «Белого списка».

Все вышеперечисленные методы ориентированы на идеологию сравнения подозрительного файла с шаблонами известных типов вирусов. Недостатки такого подхода обусловлены возможностью модификации вирусных программ. Достаточно изобрести новый вирус, полностью идентичный разработанному ранее, однако использующий другие команды и методы для достижения своих целей, и антивирус не сможет заблокировать его как опасную программу, так как его не будет в списке его сигнатур. Кроме того, обновление сигнатур не всегда настроено у пользователей антивируса и еще менее охотно они дают отчеты о новых типов вирусов, поразивших их компьютеры[4,5].

Другим, потенциально возможным методом борьбы с сетевыми вирусами являются брандмауэры и фаерволы. Однако качественные продукты этой категории достаточно дорогостоящие и требуют больших усилий квалифицированных специалистов для грамотной настройки, а у свободно распространяемых - ошибка идентификации потенциально опасных страниц настолько велика, что зачастую утомляет пользователя своими бессмысленными запретами[2].

В данной статье предлагается принципиально новый метод обнаружения вирусных конструкций в интернет-страницах, который построен на основании эвристического анализа команд скриптовых языков.

Обзор алгоритма работы эвристического анализа

Целью исследований является создание метода, который позволил бы с максимальной точностью отнести web-страницу к категории опасных и настоятельно не рекомендуемых к просмотру, либо, в противном случае – безопасных для системы.

Важной особенностью рассматриваемого подхода является концепция структуры сигнатур скриптовых языков. Подключаемые файлы сигнатур содержат по 2 файла для каждого языка – безопасных и небезопасных команд(exclude и include) со своими коэффициентами опасности, что рассматривается как поиск определенной команды в exclude, а на следующем шаге - include в условных блоках алгоритма (Рис. 1). Преимущество такого подхода обусловлено возможностью добавления новых команд в файл сигнатуры вследствие появления новых версий языка

программирования. При выпуске нового скриптового языка достаточно незначительно модифицировать приложение, создав дополнительную пару сигнатур и обеспечить возможность проверки на эту сигнатуру. Следует отметить, что скорость развития существующих языков и добавления новых к числу интегрируемых в HTML несоизмеримо меньше скорости создания новых версий вирусов.

На содержание потенциально опасных команд анализируются также и участки кода, которые содержатся между установленными тегами включения этого языка в текст HTML. Например, команды языка php не отображаются браузером, если они находятся между тегами

(<? ;?>), (<script language="php"> ; </script>), (<% ; %>).

Пары этих тегов обозначаются в алгоритме как (rightDelimetr; leftDelimetr), что отображает проверка «Последняя пара (rdel, ldel)?» (Рис. 1). Каждый язык имеет несколько таких пар, за исключением ActiveX и WSH. Для них проверка на наличие команд из списка сигнатур осуществляется путем сканирования всего кода JavaScript и VBS.

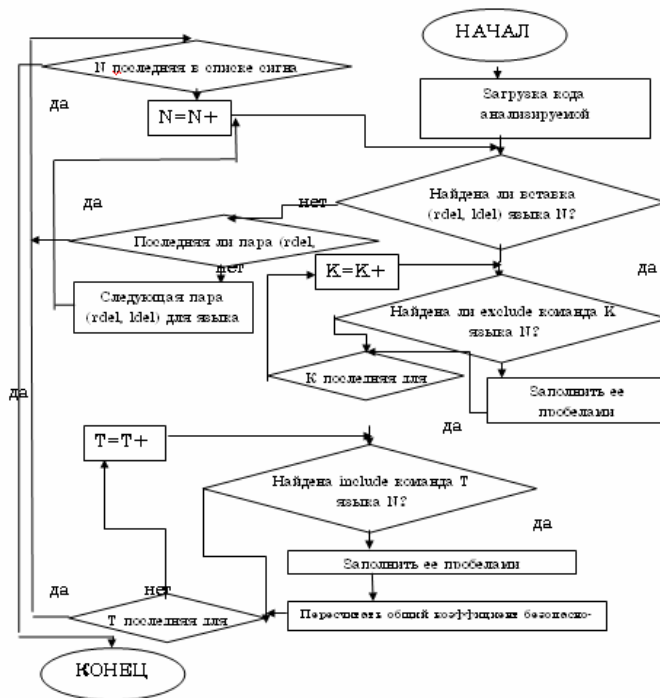


Рисунок 1 – Алгоритм работы программы нахождения потенциально опасных команд методом эвристического анализа

Все потенциально опасные команды скриптовых языков условно можно разделить на группы:

- WWFD (work with file or directory) - команды работы с файлом или папкой в текстовом режиме: писать в файл (1), читать из файла (2), изменять позицию нахождения в файле или работа с указателем на файл(3);

- Sys (System) - команды работы с файлом или папкой с точки зрения ОС: копировать, удалить, открыть файл или папку (1), получить системную информацию о файле или папке (2), создать / удалить указатель на файл, все действия с путем к файлу, получить имя файла или папки (3);

- Right - попытка автоматически изменить права доступа от имени администратора (суперпользователя для Unix-систем), или просто делать такие изменения в работе системы и ее настройках, на которые имеет права только главный пользователь: добавить права на изменения файла или папки, изменить содержимое конфигурационных файлов, изменить главного пользователя файла или папки (1), модификация системного времени и даты, добавить пользователя системы (2), изменить стартовую страницу, добавить в закладки, изменить политику безопасности, и другие настройки браузера (3);

- CNSE (Create new system element) – создать новый системный элемент: создать системный диск, файл или папку (1), переразметить, получить сведения относительно дискового пространства (2), получить информацию о дисках (3);

- Crypth - попытка кодировать / декодировать команды: выполнить команды, предварительно преобразовав из символьных кодов (1), декодировать (2), кодировать (3);

- Post - автоматические попытки отсылать письма от имени пользователя: получить список всех адресов из адресной книги, отослать письмо (1), добавить прикрепленный документ (2), работа с получателями (3);

- SysLink - ссылки на системные ресурсы: *.bat, *.com, *.tar, *.exe-файлы, системные сервисы (1), стандартные системные файлы и папки (2), диски (3);

- MD (Most dangerous) – дополнительная группа команд, которой присвоены коэффициенты $D = 0.99$, $v = 0.64$: добавить /

удалить сервис, перезагрузить систему, запустить его на исполнение, внести изменения в системный реестр.

Каждой команде из списка сигнатур присваивается свой коэффициент. Команды всех скриптовых языков из сигнатур были разделены на группы команд по функциональным характеристикам. К одной группе относятся однотипные команды в различных языках. Внутри каждой группы команды распределяются на 3 уровня опасности:

1 - команда может нанести серьезный ущерб системе, а выполнение внесет важные изменения в ее работу;

2 - выполнение команды потенциально опасно для ПК, однако не несет необратимых операций;

3 - команда безопасна для системы. Ее присутствие скорее служит идентификатором нахождения других вредоносных команд в коде.

Наибольший коэффициент опасности в каждой группе получили те команды, которые чаще всего используются хакерами в вирусных программах. Коэффициенты функциональных групп команд D и частота их появления v в конструкторах вирусов в виде отношения числа команд группы к общему числу сгенерированных страниц приведены в Табл.1.

Таблица 1

Распределение коэффициентов опасности команд
по группам и уровням

Группа	1		2		3	
	D1	$v1$	D2	$v2$	D3	$Y3$
WWFD	0.85	$>50=1$	0.75	$23/50=0.46$	0.2	$8/50=0.16$
Sys	0.9	$>50=1$	0.75	$46/50=0.92$	0.4	$39/50=0.78$
Right	0.95	$41/50=0.82$	0.85	$12/50=0.24$	0.75	$28/50=0.56$
CNSE	0.95	$>50=1$	0.8	$9/50=0.18$	0.75	$13/50=0.26$
Crypth	0.9	$>50=1$	0.85	$>50=1$	0.4	$18/50=0.36$
Post	0.85	$24/50=0.48$	0.8	$3/50=0.06$	0.55	$16/50=0.32$
SysLink	0.96	$>50=1$	0.85	$>50=1$	0.75	$14/50=0.28$

Помимо поиска сигнатур опасных команд скриптовых языков осуществляется проверка на содержание в коде языка команд обращения к системным дискам, файлам и папкам,

конфигурационным файлам в системных директориях. Нахождение длинных последовательностей закодированных 16-ричных символов, последовательностей со знаками %, которые использует JavaScript для сокрытия сути шифрованного текста от антивирусного ПО и просмотрщиков кода страниц через АСКИ-коды символов команд [4,5]. Для них приняты коэффициенты $D = 0.6$, $v = 1$.

Результаты исследований

Были проведены эксперименты по поиску потенциально опасных включений в тестовых web-страницах (Табл. 2). На основе предложенного алгоритма реализованы методы расчета общего коэффициента опасности страницы - арифметического среднего и наивного классификатора Байеса.

Проведенные исследования показали, что метод арифметического среднего более чувствителен к потенциально опасным включениям, чем метод Байеса. Страницы, инфицированные конструкторами вирусов, с большей достоверностью определяются на основе эвристического метода, чем известными антивирусами. При анализе двух других групп страниц антивирус Касперского не обнаруживает ни одной инфицированной, Avira – 5. Возможно, эти страницы действительно не содержат опасных включений, однако имеют возможность их сохранения на ПК, выполняя команды создания файлов без ведома пользователя, получая информацию о настройках его системы, протоколах обмена данными и пр.

Таблица 2

Сравнение оценок результатов сканирования web-страниц с использованием эвристического алгоритма и известных антивирусов

Группа web-страниц	Эвристический алгоритм, метод ар. среднего	Эвристический алгоритм, метод Байеса	Антивирус Касперского	Avira AntiVir
Инфицированные конструкторами	24/25=0,96	18/25=0,72	18/25=0,72	14/25=0,56
Черные списки	4/25=0,16	4/25=0,16	0	5/25=0,2
Лидеры посещаемости	19/50=0,38	17/50=0,34	0	0

Выводы

Предложенный эвристический метод в результате исследований показал хорошие результаты определения потенциально опасных команд в web-страницах. Основными преимуществами метода следует считать возможность быстрой адаптации к новым опасным включениям, точность идентификации, а также свободный выбор метода дальнейшего определения полного коэффициента опасности страницы, который рассчитывается на основе коэффициентов найденных команд для каждой из сигнатур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фленов М.Е. «Web-сервер глазами хакера» – Санкт Петербург «БХВ-Петербург», 2007г.
2. Скембрей Дж., Шема М. «Секреты хакеров. Безопасность Web-приложений - готовые решения», Москва, Издательский дом «Вильямс», 2003г. -384 с.
3. Джонс К., Шема М., Джонсон Б. «Антихакер. Средства защиты компьютерных сетей. Справочник профессионала», «Издательский дом Вильямс», 2003 г. -458 с.
4. Ludwig M. «The Giant Black Book of Computer Viruses», American Eagle Publications, Inc. 1998- 490 p.
5. Ludwig M. «The Little Black Book of Computer Viruses», American Eagle Publications, Inc. 1993- 384 p.
6. Фленов М.Е. «Linux глазами хакера» – Санкт Петербург «БХВ-Петербург», 2005г.

УДК 004.654: 004.852

Т.М. Булана, О.С. Коричковська

ОБРОБКА ДАНИХ МЕТОДОМ ІМОВІРНІСНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Анотація. Розглянуто нейромережеві технології для вирішення задач класифікації, зокрема діагностування за медичними даними. Проаналізовано існуючі алгоритми вирішення даної задачі. Для детального аналізу серед них було обрано багаточаровий перцептрон MultiPlayer Perceptron (MLP), ймовірна нейронна мережа Probabilistic Neural Networks (PNN), узагальнено-регресійна нейронна мережа General Regression Neural Networks (GRNN). Виходячи з концепції гібридних мереж розроблено гібрид який поєднує PNN та MLP. Проведено порівняння нейромереж, виявлено складності реалізації, особливості застосування та налагодження.

Актуальність. На сучасному етапі нейронні мережі мають значне застосування та великі перспективи у розв'язанні найрізноманітніших задач. Зокрема завдання медицини та біології є ідеальним полем для їх застосування, і саме в цій області спостерігається найбільш яскравий практичний успіх нейроінформаційних методів. Головною задачею обробки медичних даних є вірна постановка діагнозу, або інакше кажучи класифікація пацієнтів за наявністю певного типу захворювання.

Аналіз відомих реалізацій. Використання нейромереж в медицині, як правило, пов'язано з системами для діагностики та диференціальної діагностики захворювань. При цьому для прийняття рішень можуть використовуватися найрізноманітніші дані: анамнез, клінічний огляд (створюються експертні системи діагностики, обмежуються тільки цим набором), результати лабораторних тестів і складних функціональних методів. Проте навчена нейромережа не тільки вміє розпізнавати приклади, але і зберігає досить важливу інформацію. Важливим фактором застосування є можливість обробки багатовимірних даних, що дозволяє робити діагностику більш комплексною.

Прикладом програми діагностики служить пакет кардіодіагностики, розроблений фірмою RES Informatica спільно з

© Булана Т.М., Коричковська О.С., 2009

Центром кардіологічних досліджень в Мілані. Програма дозволяє здійснювати неінвазивну кардіодіагностику на основі розпізнавання спектрів тахограмм. Так чи інакше, уже зараз можна констатувати, що нейронні мережі перетворюються в інструмент кардіодіагностики - в Англії, наприклад, вони використовуються в чотирьох госпіталях для попередження інфаркту міокарда. Зрозуміло, що це лише дуже незначна частина всіх прикладів вдалих застосувань нейронних мереж, і такий список може буди дуже довгим. Але не зважаючи на свої позитивні якості, все існуючі нейромережеві продукти мають і деякі мінуси, а саме: значна ціна, що може стати головним бар'єром у запровадження технологій та програмних продуктів у некомерційні галузі. В одних випадках такі продукти є занадто громіздкими та надлишково функціональними, а у інших, налаштовані на вирішення занадто вузького кола задач. Інтерфейс та налаштування мережі можуть буди інтуїтивно незрозумілими, та занадто складними, за умови відсутності, або незрозумілості супроводжуючої документації. Все це, звісно, ускладнює запровадження та використання, адже користувач не завжди є спеціалістом у галузі інформаційних технологій, і зокрема нейромережевих систем.

Постановка задачі. Таким чином, існує гостра необхідність у гнучкому програмному комплексі для вирішення різноманітних задач класифікації, який буде: вирішувати саме задачі класифікації, містити нейромережеві алгоритми які реалізують модель класифікатора, матиме зручний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, повну візуалізацію отриманих результатів, що дозволить користувачеві мінімізувати час на навчання та роботу, бути зручним у налаштуванні, адаптуватися для конкретної предметної області, мультиплатформним.

Основна частина. Для реалізації поставленої задачі було проведено детальний аналіз нейромережевих алгоритмів, серед них виявлено ті, що найкраще вирішують задачу класифікації та легкі в налаштуванні. До таких було віднесено: двошаровий перцептрон (класична нейронна мережа, що вирішує дуже широкий спектр завдань), PNN (ймовірнісна нейронна мережа, орієнтована на вирішення саме задач класифікації), GRNN (вихід цієї мережі може розглядатися як очікуване значення моделі в даній точці простору

входів, це значення пов'язано з щільністю ймовірності спільного розподілу вхідних та вихідних даних).

Новим напрямом в розвитку нейротехнологій є розробка так званих гібридних нейронних мереж. Сутність таких мереж полягає у використанні переваг одразу декількох нейронних структур для покращення результату та зменшення швидкості навчання. Гібридна мережа може бути більш ефективною, бо задача поділяється на два незалежних етапи. В якості дослідження гібридних мереж було поєднано PNN та MLP з метою отримання кращих результатів. Розглянемо детально кожен з вище згаданих мереж.

Архітектура перцептрона MLP була розроблена на початку 1970-х років декількома незалежними авторами: Вербор (Werbor); Паркер (Parker); Румельгарт (Rumelhart), Хінтон (Hinton) та Вільямс (Williams). На даний час, парадигма BackPropagation найбільш популярна, ефективна та легка модель навчання для складних, багатосарових мереж. Вона використовується у різних типах застосувань і породила великий клас нейромереж з різними структурами та методами навчання.

Типова мережа BackPropagation [1] має вхідний прошарок, вихідний прошарок та принаймні один прихований прошарок. Теоретично, обмежень відносно числа прихованих прошарків не існує, але практично застосовують один або два. Задавши певну структуру нейронної мережі, яка відповідає задачі, що досліджується, необхідно провести навчання. Подаючи на входи перцептрона будь-який об'єкт навчальної вибірки, на виході кожного нейрону вихідного шару одержуємо значення деякої функції $F(x_1, x_2, \dots, x_M)$, яке є відповіддю (реакцією). Очевидно, що відповідь мережі залежить як від вхідного сигналу, так і від значень її вагових коефіцієнтів. Точний вид цієї функції для кожного з нейронів вихідного шару має вигляд

$$y_r = F_r(x_1, x_2, \dots, x_M) = f\left(\sum_{l=1}^L w_{lr} f\left(\sum_{j=1}^M w_{jl} x_j + w_{0l} x_0\right) + w_{0r} x_0\right), \quad r=\overline{1, R},$$

де M – розмірність вхідного сигналу $\{x_j, j=\overline{1, M}\}$, R – розмірність вихідного сигналу, f – функція активації, w_{ij} – ваговий коефіцієнт синаптичного зв'язку, який йде від i -того нейрону до j -го, $w_{0l} x_0$ та $w_{0r} x'_0$ – значення зсуву, відповідно на схованому та вихідному шарах (зазвичай $x_0 = x'_0 = 1$). Отже, метою навчання нейронної мережі є

знаходження такого набору вагових коефіцієнтів, який забезпечує розв'язок даної конкретної проблеми.

Відповідно до методу найменших квадратів, цільовою функцією помилки при поданні $\mathbf{w}$ -того образу, що треба мінімізувати, є величина:

$$E_k(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^R (y_r - d_r)^2, \quad k = \overline{1, K},$$

де y_r – реальний вихідний стан нейрона r , $r = \overline{1, R}$ вихідного шару, d_r – потрібний вихідний стан цього нейрона. Мінімізація похибки ведеться методом градієнтного спуску, що визначає підстроювання вагових коефіцієнтів[2].

Імовірнісна нейронна мережа PNN була розроблена Дональдом Спехтом (Donald Specht). Ця мережна архітектура була вперше представлена у двох статтях: "Імовірнісні нейронні мережі для класифікації" (Probabilistic Neural Networks for Classification, 1988), "Відоображення або асоціативна пам'ять та імовірнісні нейронні мережі" (Mapping or Associative Memory and Probabilistic Neural Networks, 1990). Імовірнісна мережа вчиться оцінювати функцію густини ймовірності, її вихід розглядається як очікуване значення моделі в даній точці простору входів. Це значення пов'язане з густиною ймовірності спільного розподілу входних і вихідних даних. При рішенні задач класифікації можна оцінити густину ймовірності для кожного класу, порівняти між собою ймовірності приналежності до різних класів і обрати модель з параметрами, при яких густина ймовірності буде найбільшою. Імовірнісна мережа має чотири прошарки: входний, радіальний, конкуруючий та вихідний. Кожному класу відповідає один вихідний елемент. Вихідний елемент з'єднаний лише з радіальними елементами, що відносяться до його класу і підсумовує виходи всіх елементів, що належать до його класу. Значення вихідних сигналів утворюються пропорційно ядерних оцінок ймовірності приналежності відповідним класам [3]. Навчання імовірнісної нейронної мережі є набагато простішим, ніж BackPropagation. Істотним недоліком мережі є її розмір, оскільки вона фактично вміщує в собі всі навчальні дані, потребує багато пам'яті і може повільно працювати.

Процедура Побудова PNN

1. Ініціалізація початкових значень:

- а. визначається кількість нейронів у радіальному шарі – вона дорівнює кількості елементів навчальної вибірки;
- б. в кожен нейрон радіального шару поміщається гаусівська функція
- с. кількість нейронів конкуруючого шару дорівнює кількості класів
- д. матриця вагових коефіцієнтів мережі $W = \{w_{ij}\}$ заповнюється даними навчальної вибірки
- е. коефіцієнт гаусівської функції ε встановлюється на рівні 0.1;
- ф. останній шар має один нейрон, який визначає найкращий відгук у нейронів конкуруючого шару

2. З навчальної вибірки Ω_{K-1} випадковим чином обирається об'єкт $\omega_k \in \Omega_{K-1}$ та подається на вхід мережі.

3. Обчислюється похибка частка невірно класифікованих, до загальної кількості тестової вибірки.

Мережа GRNN за своєю структурою подібна до мережі PNN, різниця відображається у третьому шарі – конкуруючий шар відсутній, а замість нього рахується середнє зважене. Вважається, що кожне спостереження свідчить про деякої впевненості в тому, що поверхня відгуку в цій точці має певну висоту, і ця впевненість зменшується при відході в сторону від точки. GRNN-мережа копіює всередину себе всі навчальні спостереження та використовує їх для оцінки відгуку в довільній точці. Остаточна вихідна оцінка мережі виходить як зважене середнє виходів за всіма навчальним спостереженнями, де величини ваг відображають відстань від цих спостережень до тієї точки, в якій проводиться оцінювання [4].

Процедура Побудова GRNN

1. Ініціалізація початкових значень:

- а. визначається кількість нейронів у радіальному шарі – вона дорівнює кількості елементів навчальної вибірки;
- б. в кожен нейрон радіального шару поміщається гаусівська функція
- с. матриця вагових коефіцієнтів мережі $W = \{w_{ij}\}$ заповнюється даними навчальної вибірки
- д. коефіцієнт гаусівської функції ε встановлюється на рівні 0.1;

2. Останній шар має один нейрон, в якому рахується середнє зважене за даними радіального шару

3. О навчальної вибірки Ω_{K-1} випадковим чином обирається об'єкт $\omega_k \in \Omega_{K-1}$ та подається на вхід мережі.

Істотним недоліком мережі є її розмір, оскільки вона фактично вміщує в собі всі навчальні дані, потребує багато пам'яті і може повільно працювати.

Новим напрямом в розвитку нейротехнологій є розробка так званих гібридних нейронних мереж. Сутність таких мереж полягає у використанні переваг одразу декількох нейронних структур для покращення результату та зменшення швидкості навчання. Гібридна мережа може бути більш ефективною, бо задача поділяється на два незалежних етапи. Для задач класифікації розглянемо поєднання мереж PNN та MLP.

Структура такої мережі може бути відображена на рис 3.

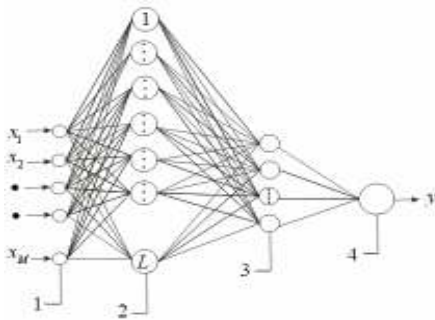


Рисунок 1 - Нейрона мережа PNN (1 – вхідний шар; 2 – радіальний базисний шар; 3 – конкуруючий шар; 4 – вихідний шар)

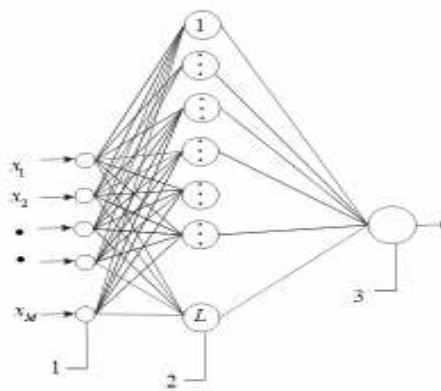


Рисунок 2 - Нейрона мережа GRNN (1 – вхідний шар; 2 – радіальний базисний шар; 3 – вихідний шар)

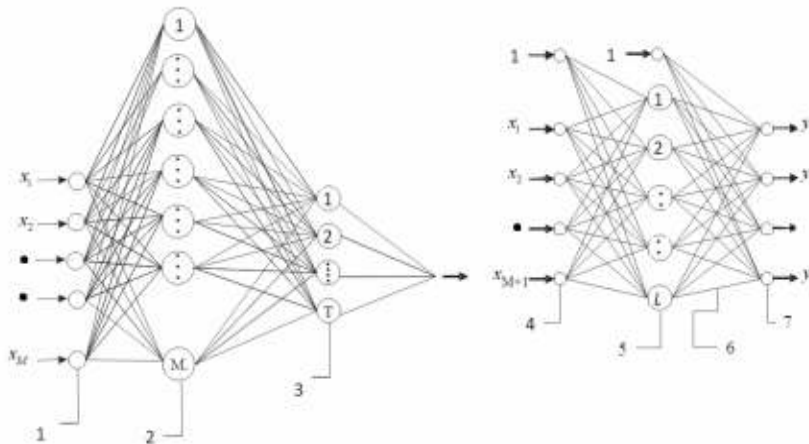


Рисунок 3 - Нейрона мережа гібридного типу:
(1 – вхідний шар; 2 – радіальний шар PNN; 3 – конкуруючий шар;
4 – вхідний шар MLP; 5 – схований шар; 6 – синаптичні зв'язки;
7 – вихідний шар)

Процедура. Навчання гібридної мережі

1. Ініціалізація початкових значень:

- a. визначається кількість нейронів у радіальному шарі – вона дорівнює кількості елементів навчальної вибірки;
- b. в кожен нейрон радіального шару поміщається гаусівська функція;
- c. кількість нейронів конкуруючого шару дорівнює кількості класів;
- d. матриця вагових коефіцієнтів мережі $W = \{w_{ij}\}$ заповнюється навчальними даними;
- e. коефіцієнт гаусівської функції ε встановлюється на рівні 0.1;
- f. останній шар має один нейрон, який визначає найкращий відгук у нейронів конкуруючого шару;
- g. визначення кількості нейронів у схованому шарі персептрону, матриця вагових коефіцієнтів мережі $W = \{w_{ij}\}$ заповнюється випадковими значеннями, що рівномірно розподілені на проміжку $[-0,5;0,5]$;
- h. $x_0 = y_0 = 1$
- i. $\Delta w_{ij} = 0$;
- j. коефіцієнт інерційності μ встановлюється на рівні 0,03;
- k. коефіцієнт швидкості навчання η встановлюється на рівні 0,9;
- l. задається кількість епох K_E ;
- m. шаг зменшення швидкості навчання $h_\eta = \eta / K_E$;
- n. «лічильник» похибок $C_E = 0$.

2. Якщо кількість епох досягла заданої K_E , то обчислюється оцінка повної ймовірності помилкової класифікації C_E / K_E . Навчання закінчено.

3. З розгляду випадковим чином вилучається один з векторів навчальної вибірки $\varpi_k^* \in \Omega_K$, тим самим формується навчальна вибірка Ω_{K-1} .

4. З навчальної вибірки Ω_{K-1} випадковим чином обирається об'єкт $\omega_k \in \Omega_{K-1}$ та подається на вхід мережі.

5. Обчислюється загальна похибка $E_k(w) = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^R (y_r - d_r)^2$,

6. Для кожного нейрону вихідного шару обчислюється похибка

$$\delta_r = (y_r - d_r)(1 - y_r)y_r, \quad r = \overline{1, R}$$

7. Для всіх нейронів схованого шару обчислюється похибка

$$\delta_l = \left(\sum_{r=1}^R w_{lr} \delta_r \right) (1 - y_l)y_l, \quad l = \overline{1, L}$$

8. Обчислюється величина зміни ваг вихідного шару

$$\Delta w_{lr} = -\eta(\mu \Delta w_{lr} + (1 - \mu)\delta_r y_l), \quad l = \overline{0, L}, r = \overline{1, R}$$

9. З урахуванням зсуву обчислюється величина зміни ваг схованого шару

$$\Delta w_{lr} = -\eta(\mu \Delta w_{lr} + (1 - \mu)\delta_r y_l), \quad l = \overline{0, L}, r = \overline{1, R}$$

10. Для всіх ваг всіх шарів обчислюються нові значення ваг

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

11. Якщо кількість ітерацій становить $K-1$ (тобто епоху закінчено), то перейти на пункт 12, інакше на пункт 4.

12. Подати на вхід мережі вектор ω_k^* . У разі невірної класифікації $C_E = C_E + 1$.

13. Зменшення швидкості навчання $\eta = \eta - h_\eta$. Перехід до пункту 2.

Таким чином, розроблена процедура навчання гібридної мережі дозволяє навчити двошаровий персептрон й оцінити в процесі навчання повну ймовірність помилкової класифікації. У випадку малорозмірної або неякісної навчальної вибірки навіть найкращий алгоритм не дасть задовільного результату, оскільки без повноцінного набору даних нейромережа принципово не здатна навчитися.

Були проведені дослідження залежності якості класифікації від параметрів алгоритму навчання й структури нейронних мереж. Вхідні дані для досліджень були надані Антигіпертензивним центром клінічної лікарні №11 м. Дніпропетровськ, які містили дані комплексного обстеження, відомості про діагнози. Надана вибірка, на якій проведені дослідження й апробована робота системи, є високо репрезентативна. Усього внесено даних по 690 хворим з серцево-судинними захворюваннями (артеріальна гіпертензія, артеріальна гіпертензія у сполученні ішемічною хворобою серця, артеріальна гіпертензія у сполученні із захворюванням нирок) та по 96 здоровим - контрольна група[5]. Результати досліджень показали, що якість класифікації MLP – 95%, PNN - 96,4% та розроблена гібридна

мережа яка поєднує PNN та MLP дала якість класифікації 98,6%, що свідчить про доцільність використання нейромережі.

Висновки. Було проведено детальне ознайомлення з різноманітними типами нейронних мереж. Серед всього їх різноманіття було обрано мережі MLP, PNN та GRNN.

Мережі PNN та GRNN мають недоліки: громіздка структура може вплинути на швидкість навчання, для правильної роботи співвідношення даних кожного класу у тестових та навчальних вибірках має бути однаковим. Дані мережі можуть ефективно працювати навіть на надзвичайно малій навчальній вибірці, у разі потрапляння до цієї вибірки центроїда кожного класу. Коли навчальна вибірка є досить великою, мережі розростається та можуть працювати повільно. З іншого боку, ці мережі не потребують навчання, що економить час та спрощує їх налаштування.

Мережа MLP є досить гнучкою до вхідних даних, і майже гарантовано дає добрий результат. Мінусом її є велика кількість параметрів, яку в багатьох випадках потрібно підбирати експериментальним шляхом для отримання найкращого результату.

Ознайомившись з концепцією гібридних мереж, розроблено алгоритм мережі гібрида PNN та MLP. Проведено порівняльний аналіз нейромереж, в ході якого виявлено, що найкращі результати зі всіх дає гібридна мережа.

ЛІТЕРАТУРА

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации М.: Финансы и статистика, 2004. 344 с.
2. Хачапурідзе Т.М. Інформаційне нейромережеве забезпечення діагностики серцево-судинної системи по функціям інтенсивності // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційні технології. 2005. Т.9. С. 34–49.
3. http://www.victoria.lviv.ua/html/oio/html/theme7_1.htm
4. Солдатов О.П., Семенов В.В. Применение нейронных сетей для решения задач прогнозирования // Электронный научный журнал «Исследовано в России» 1270 (<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/136.pdf>)
5. Буланая Т.М., Колесник Т.В. Автоматизированная система комплексного индивидуального анализа при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний.// Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: міжн. наук.-практ. конф.: тези доп. – Дніпропетровськ, 2006.– С. 81.

УДК 519.7:519.81

Я.І. Вихлюк, Є.В. Рубанець

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВАБЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Анотація. Запропоновано метод розрахунку агрегованого показника туристичної привабливості території за допомогою методу аналізу ієрархій з врахуванням фактору сезонності. Визначено основні показники туристичної привабливості основних туристично-рекреаційних систем Чернівецької області. Проведено порівняльний аналіз з розрахунками отриманими за допомогою апарату нечіткої логіки.

Важливість у розбудові центрів відпочинку в гірських місцевостях набули великого значення у повсякденному житті туристичних фірм. Туристичний напрямок розвитку в Україні має унікальні потенційні можливості. Як показує світовий досвід, туристична сфера постійно вдосконалюється, стрімко розширюється, є високоприбутковою та ефективною. Розвиток туризму може відкрити нові шляхи підприємницької діяльності, зменшення рівня безробіття в сільській місцевості, та потоку грошових коштів до місцевих бюджетів, як від українських так і від іноземних туристів. Зокрема, на території Чернівецької області існує ряд гірськолижних курортів, баз відпочинку, котеджів та готелей. Наповненість туристично-рекреаційних підприємств залежить від сезонності, транспортної доступності, розвитку соціальної інфраструктури (культурно-мистецькі та спортивно-оздоровчі заклади, медицина, харчування, зв'язок, інтернет), економіко-географічного розміщення об'єкту та ін. Тому є необхідність у розрахунку туристично-рекреаційного показника привабливості. Це дасть змогу:

- найбільш ефективному розміщенню туристично-рекреаційних підприємств;
- максимальній відвідуваності об'єктів дослідження;
- вигідному інвестуванню в туристичну галузь;
- максимальному задоволенню потреб населення у відпочинку, оздоровленні, лікуванні.

© Вихлюк Я.І., Рубанець Є.В., 2009

Аналіз досліджень і публікацій. При побудові складних математичних та формальних моделей виникає проблема рівня їх адекватності реальним умовам, особливо, якщо на прийняття рішення впливають якісні фактори. Такі фактори важко, а іноді й неможливо описати з допомогою одного математичного інструментарію. Крім того, проведення досліджень за допомогою одного методу побудови моделей не показують задовільних результатів, коли вхідні дані для опису та постановки задачі є апріорі неточними або неповними. Тому для розв'язання нашої задачі не можливо створити повну та точну модель лише за допомогою одного методу. Щоб отримати адекватні результати необхідно підібрати такий математичний апарат, що дозволить оперувати неповними та якісними характеристиками і мати змогу співставити результати одного дослідження з іншими. Виконання поставленої задачі дасть змогу порівняти результати виконання 2-ух методів, а саме класичного методу аналізу ієрархій (МАІ) та нечіткої логіки.

Використання МАІ набуло широкого використання в різноманітних сферах, особливо при проведенні соціологічних досліджень. Так, в роботі [1] порівнюються пріоритети впливу зовнішніх факторів на якість життя населення різних вікових груп. Значення пріоритетів, отримані в ході дослідження показали значну схожість з отриманими статистичними даними, які проводились при масовому опитуванні населення, що і підтверджує надійність використання МАІ.

Зокрема в роботі [2] використовується МАІ для виявлення та порівняння систем електронного бізнесу. В роботі [3] запропонований підхід до створення бази знань спеціалізованої експертної системи оцінки імовірності подій техногенної небезпеки. Схожі експертні системи дозволяють замінити експертів в оперативному моніторингу ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах. Застосування МАІ для створення автоматизованих систем готовності аварійно-рятувальних формувань у ситуаційних центрах досліджено в роботі [4], де розглянуті питання технічної реалізації аварійних формувань. За допомогою МАІ створюються автоматизовані системи, які застосовуються в повсякденному житті кожної людини. Так, в роботі [5] запропоновано використовувати комплекс імітаційних моделей

залізничної мережі, яка функціонує в умовах випадкових дій для оптимального розподілу транспортних потоків на залізничних коліях.

Науковцями розроблено та постійно вдосконалюється математичний апарат, який певною мірою повторює можливості людського інтелекту – теорію нечітких множин та нечітку логіку. Так в роботі [6] детально проведені розрахунки агрегованого показника туристичної привабливості Чернівецької області на базі нечіткої логіки (Fuzzy Logic). В роботі запропоновано метод розрахунку комплексного сезонного показника привабливості території для відпочиваючих з врахуванням різноманітності їх вподобань щодо відпочинку. Метод розрахунку агрегованого показника туристичної привабливості території апробовано для десяти популярних туристично-рекреаційних об'єктів Чернівецької області. Недоліками статті можна вважати проведення єдиного дослідження за допомогою апарату нечіткої логіки без порівняння з іншими.

Тому метою дослідження є розробка алгоритму розрахунку привабливості туристично-рекреаційних зон з використанням методу аналізу ієрархій та порівняння результатів з даними отриманими в роботі [6].

Актуальність обраної теми полягає у розрахунку показників ефективного використання туристичних ресурсів у Чернівецькій області, визначенні доцільності їх концентрації в гірських районах, історико-культурних центрах. Цінність даної статті полягає в наданні рекомендацій згідно аналізу розрахунків, щодо доцільності використання коштів інвесторами та приватними підприємцями для розміщення готельно-туристичних комплексів з метою отримання прибутку.

Постановка задачі. Використовуючи МАІ необхідно визначити агреговані показники рекреаційних об'єктів туризму Чернівецької області. При розрахунку потрібно врахувати особливості розташування, потенційні можливості туристично-рекреаційних об'єктів відпочинку з надання туристичних послуг, а також врахувати різносторонність відпочинку в окремих порах року. Перевірити адекватність моделі шляхом порівняння результатів, отриманих експертами відділу питань туризму Чернівецької

облдержадміністрації з результатами отриманими MAI та FuzzyLogic [7].

MAI є одним із напрямів у теорії прийняття рішень. Цей метод апробовано у великій кількості наукових досліджень в галузях економіки, математики, інженерії та являється моделлю рішень тяжких задач ієрархічного виду. Його суть полягає в декомпозиції проблеми на прості складові частини, де кожен етап декомпозиції можна представити у вигляді рівнів [8].

Ієрархія будується від вершини через проміжні рівні. На кожному з рівнів проводяться розрахунки над внесеними статистичними даними. І лише після опрацювання розрахованих значень, де кожен елемент є прямолінійно залежним від іншого - виводиться рейтингова оцінка.

Для визначення агрегованого показника території запропоновано розбити предметну область на 3 рівні (рис.1). З рисунку видно, що верхній 0-ий рівень ієрархії це вивід рейтингової оцінки, перший рівень – містить в собі інформацію про сезони відпочинку і відповідно на останньому 2-му рівні визначається рейтингова оцінка туристичного об'єкту в конкретний період. Всі дані формуються у вигляді матриць попарних порівнянь.



Рисунок 1 - Ієрархічна структура розрахунку показника рекреаційної привабливості

1-й рівень представляє собою матрицю попарних порівнянь, яка відображає відносну привабливість сезону (літній, зимовий, історико-культурний, весна-осінь) і позначається $A\{a_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, n}$, де $a_{i,j}$ – елементи матриці A , n – кількість видів відпочинку. В табл.1 наведено приклад побудови матриці попарних порівнянь між сезонами відпочинку.

Таблиця 1

Матриця попарних порівнянь 1-го рівня між сезонами відпочинку

та бл иц і ви дн о,	З	A_1 (літній)	A_2 (зимовий)	A_3 (історико- культурний)	A_4 (весна- осінь)
	A_1 (літній)	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}
	A_2 (зимовий)	$1/a_{12}$	1	a_{23}	a_{24}
	A_3 (історико- культурний)	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	a_{34}
	A_4 (весна-осінь)	$1/a_{14}$	$1/a_{24}$	$1/a_{34}$	1

що побудована матриця парних порівнянь показників сезонності є обернено-симетричною матрицею, з рангом рівним 1. Матриці попарних порівнянь можуть бути отримані, як звичайні статистичні дані, так і шляхом експертного оцінювання.

Для отриманої матриці визначається максимальне власне значення, потім після виписування системи лінійних рівнянь визначається власний вектор і нормуються його компоненти. Ці компоненти показують ваги різних показників у частках від одиниці. Тому агрегований показник визначається як сума добутків значень складових його показників на відповідні вагові коефіцієнти, визначені вищевказаним шляхом.

Аналогічним чином будуються матриці попарних порівнянь 2-го рівня між об'єктами відпочинку – матриці $B_{lk}^i = \{b_{lk}^i\}$, $l, k = \overline{1, m}$, де m – кількість об'єктів відпочинку, i – індекс сезону. Отримані матриці

служують вхідними параметрами алгоритму розрахунку показників привабливості рекреаційно-туристичних зон.

Алгоритм побудови розрахунків МАІ наступний:

1. Будуються матриці попарних порівнянь 1-го та 2-го рівнів;
2. Сумуються по рядкам всі елементи матриць A та B^i

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}; \quad B_l^i = \sum_{k=1}^m b_{lk}^i \quad (1)$$

3. Всі значення отриманих векторів нормуються на 1.

$$\bar{A}_i = \frac{A_i^j}{\sum_{i=1}^n A_i^j}; \quad \bar{B}_l^i = \frac{B_l^i}{\sum_{l=1}^m B_l^i} \quad (2)$$

4. Розраховується агрегований показник, як лінійна згортка між елементами 1-го та 2-го рівнів.

$$K_l = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \cdot \bar{B}_l^i \quad (3)$$

Результатом виконання алгоритму є вектор K_l рейтингових оцінок, де показник l – індекс туристично-рекреаційних об'єктів.

Комп'ютерний експеримент. В якості об'єктів дослідження слугували туристично-рекреаційні об'єкти Чернівецької області. Значення матриць попарних порівнянь були сформовані експертами Чернівецької обласної держадміністрації [7]. В якості об'єктивних оцінок, була використана загальноприйнята шкала відносних порівнянь Т. Сааті (табл.2.)[8].

Таблиця 2

Оцінка значимості показників Т.Сааті

Інтенсивні	Якісна оцінка	Пояснення
1	Однакова значимість	Елементи рівні за значимістю
3	Слабка значимість	Існують докази переваги одного елемента в порівнянні з іншим
5	Істотна(сильна) значимість	Існують докази і логічні критерії, що підтверджують значимість
7	Очевидна значимість	Існують переконливі докази
9	Абсолютна значимість	Цілком підтверджуються переваги одного елемента в порівнянні з іншим

На рисунку 2 представлені результати розрахунків у вигляді рангового порівняння проведених за допомогою МАІ в порівнянні з оцінками, отриманими експертами [8] та методом нечіткої логіки (FuzzyLogic).

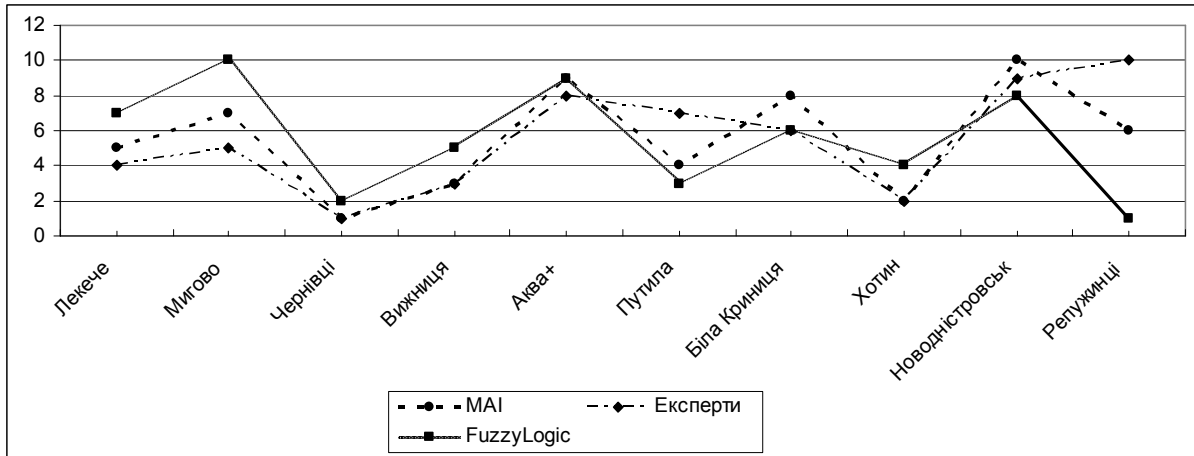


Рисунок 2 - Результат порівняння розрахунків МАІ та FuzzyLogic з експертами

З рисунку видно, що показники, отримані в ході досліджень добре корелюють між собою, зберігають тенденцію і в двох точках повністю співпали.

Для знаходження кількісної величини кореляції між 2-ма результатами був застосований метод рангової кореляції, згідно якого, на базі масиву даних будуються ранги Спірмена [9]. Розрахунок коефіцієнту кореляції рангів Спірмена базується на розрахунку різниці рангів значень факторних і результативних ознак.

$$p = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^v d_i^2}{v(v^2 - 1)}, \quad (4)$$

де p – коефіцієнт кореляції Спірмена, $d_i = x_i - y_i$, $x_i; y_i$ – значення відповідно 1-ї (x) та 2-ї (y) вибірок; v – кількість значень вибірки. Отримані в ході розрахунку значення коефіцієнта Спірмена наведені в табл.3.

Таблиця 3

Розрахунок коефіцієнту кореляції рангів Спірмена

№ п/п	Назва об'єкту	Показники отримані при експертній оцінці		MAI (показники отримані за методом аналізу ієрархій)		Fuzzy Logic (показники отримані за методом нечіткої логіки)		d_{xy} (різниця рангів між MAI та експертами)	d^2_{xy} (квадрат різниць рангів між MAI та експертами)	d_{xz} (різниця рангів між FuzzyLogic та експертами)	d^2_{xz} (квадрат різниць рангів між FuzzyLogic та експертами)
		абсолютний показник	Ранг x	абсолютний показник	Ранг y	абсолютний показник	Ранг z				
1	Лекече	3,04	4	0,094	5	0,079	7	1	1	2	4
2	Мигово	3	5	0,084	7	0,064	10	2	4	3	9
3	Чернівці	5,1	1	0,178	1	0,131	2	0	0	1	1
4	Вижниця	4	3	0,124	3	0,110	5	0	0	2	2
5	Аква+	2,1	8	0,073	9	0,071	9	1	1	0	0
6	Путила	2,2	7	0,101	4	0,119	3	3	9	3	9
7	Біла Криниця	2,4	6	0,075	8	0,099	6	2	4	2	4
8	Хотин	4,8	2	0,140	2	0,114	4	0	0	2	4
9	Новодністровськ	1,3	9	0,036	10	0,078	8	1	1	2	4
10	Репужинці	1,2	10	0,089	6	0,131	1	4	16	2	4
							$\sum d^2$		36		41
							p		0,78		0,75

Як видно з результатів співставлення рангів розрахованих показників за 2-ма методами, їх фактичні показники виглядають достатньо схожими. В деяких випадках ранги повністю співпадали між собою (MAI: показники під номерами 1,5 і 9, особливо повне співпадіння показників під номерами 3,4 і 8; FuzzyLogic: показники під номерами 3 і 5, особливо повне співпадіння показника під номером 5), у інших туристично-рекреаційних об'єктів розбіжність була достатньо великою.

Критерієм для визначення прямої залежності між розрахованими показниками методом аналізу ієрархій та методом нечіткої логіки служить табличне значення коефіцієнту кореляції t-критерію значень рангів Спірмена [10]. При кількості експериментів $n=10$ табличні значення коефіцієнту кореляції t-критерію наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Табличне значення коефіцієнту кореляції t-критерію значень рангів
Спірмена при величині вибірки $n=10$

$n \backslash \alpha$	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
10	0,552	0,636	0,783

З таблиці видно, що отримані результати при порівнянні за МАІ ($p=0,78$) та FuzzyLogic ($p=0,75$) знаходяться в межах $0,552 < p < 0,783$.

Це свідчить про те, що з вірогідністю 95% можна стверджувати що розрахунки проведені МАІ та нечіткої логіки покажуть однакові результати. Тому вибір того чи іншого методу залежить від вподобань експерту, який заповнюватиме вхідні дані моделей [11].

Висновок. В роботі запропоновано метод розрахунку туристичної привабливості території на базі методу аналізу ієрархій. Використання даного методу дозволяє врахувати наявні природні умови та інфраструктуру для організації та проведення різноманітних видів відпочинку та розважальних заходів. Особливістю дослідження є використання фактору сезонності.

Запропонований метод розрахунку агрегованого показника туристичної привабливості території апробовано для десяти популярних туристично-рекреаційних об'єктів Чернівецької області.

Проведено порівняльний аналіз між методами аналізу ієрархій та нечіткої логіки з використанням коефіцієнтів Спірмена. Розрахунки показали, що з імовірністю 95% результати, отримані експертами співпадуть між собою.

Запропонований метод дозволить підприємствам туристичної галузі більш адекватно обирати напрям та масштаби капіталовкладень при плануванні стратегії діяльності організацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.И. Уварова, В.Г.Шуметов, «Использование метода анализа иерархий» // Социологические исследования. 2001. № 3. С. 104-109.
2. Серебровский А.Н., «Метод анализа иерархий при создании базы знаний экспертных систем оценки техногенной опасности» // Математичні машини і системи, 2008 р., № 3., ст. 62-67.
3. Плескач В.Л., Рогушина Ю.В., «Применение метода анализа иерархий для сравнения и отбора систем электронного бизнеса» // Вісник Київського національного університету ім. Т.Шевченко. Серія "Фізико-математичні науки" – 2004 р. ст. 156-163.
4. Еременко Т.К., Оксанич І.Н., Пилипенко Ю.Г., 2008 // Математичні машини і системи №4., с. 139-146
5. Максимей І.В., Сукач Е.І., Гируц П.В., Ерофеева Е.А, 2008 // Математичні машини і системи №4., с. 147-154
6. Виклюк Я.І., Артеменко О.І., 2008 // Вестник НТУ "ХПИ". Сборник научных трудов. Тематический выпуск "Системный анализ, управление и информационные технологии". Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – №41, с. 193–201
7. Матеріали відділу з питань туризму Чернівецької облдержадміністрації.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М: Радио и связь, 1993.
9. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.
10. В.Р. Бараз «Корреляционно-регрессионный анализ святы показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel» :учебное пособие.-Екатеринбург.: 2005.-102с.
11. Л. М. Ткачук Економіко-математичне моделювання якості функціонування підприємства // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 2006, №1 (5).

УДК 681.5

М.Р. Подольський

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Анотація. Розглянуто проблему відходів та засади міжнародного і національного регулювання поводження з відходами. Проаналізовано територіальні аспекти проблеми відходів і розроблено структуру територіальної автоматизованої системи управління відходами.

Вступ. У порівнянні з іншими країнами Україна належить до однієї з найбільшими питомими та абсолютними обсягами утворення й накопичення відходів. Характерною особливістю структури економіки України як у минулому, так і в теперішній час є гіпертрофовано велика частка паливно-енергетичної галузі, металургійної та хімічної промисловості. У період 1981-1990 рр. абсолютний обсяг утворення всіх видів відходів в Україні досягав 1,8-1,9 млрд. т щорічно. В наступні роки у зв'язку з наростанням кризових явищ в економіці ці показники значно зменшилися [1].

Обсяг утворення відходів в кінці 90-х та на початку 2000 років складав щорічно 700-750 млн. т. З них приблизно 250-260 млн. м³ утворюються при видобутку та збагаченні корисних копалин, біля 20 млн. т складають металургійні шлаки, близько 10 млн. т золошлакові відходи теплових електростанцій, біля 40 млн. т відходи вуглевидобутку та вуглезбагачення та інші.

На підприємствах України згідно з даними статистичної звітності щороку утворюється 77-82 млн. т токсичних відходів (у т.ч. 1,7 -2,6 млн. т I-III класу небезпеки). Загальний обсяг накопичення токсичних відходів на початок 2003 року складає біля 3,0 млрд. т., із яких до I-III класів небезпеки належить 18,7 млн. т.

Протягом 90-их та на початку 2000 років продовжувався процес накопичення відходів у промисловому і побутовому секторах. Загальна маса накопичення твердих побутових відходів (ТПВ) на території України (у поверхневих сховищах) оцінена в 30-40 млрд. т. Проведені попередні оціночні роботи на об'єктах

накопичення промислових відходів дають підстави відносити окремі з них до категорії техногенних родовищ.

Показники утворення й утилізації промислових відходів в Україні за попередні роки відображають зміну тенденцій в утворенні і використанні відходів в напрямку збільшення як обсягів утворення, так і обсягів використання.

На даний час загальна площа, на якій розміщено відходи, досягає 160 тис. га. Побутові відходи в Україні накопичуються на 656 (за даними ООН — 700) звалищах площею понад 2 600 га. Найбільші площі під звалища зайняті в областях: Донецькій - 330 га, Одеській - 195 га, Запорізькій - 153 га, Дніпропетровській - 140 га, Луганській - 129 га, Київській - 120 га, а також в Автономній Республіці Крим - 180 га. Полігони становлять менше 10 % від існуючих звалищ.

Міста України виробляють 30 млн. куб. м в рік (7,5-9,0 млн. т в рік) твердих побутових відходів (ТПВ). В середньому на 1 жителя України припадає 0,8 - 1,0 кг/добу ТПВ. В промислово розвинутих країнах ця величина сягає 1,4 кг/добу. За оцінкою західних фахівців для міста з населенням 2,5 млн. жителів добова кількість відходів складає 1 000 – 2 500 т. В США на збір та транспортування відходів витрачається біля 4 млрд. \$ на рік (12 млн. \$ на добу).

Раціональне управління відходами є завданням не тільки кожного населеного пункту, адміністративно-територіального утворення, але й загальноукраїнською і міжнародною проблемою.

На кінець минулого століття світове співтовариство дійшло висновку, що кінцева межа глобального розвитку визначається також здатністю біосфери асимілювати відходи, що виникають у процесі життєдіяльності. Основоположна мета політики у сфері поводження з відходами повинна бути спрямована на зменшення обсягів утворення відходів і перетворення все більшої їх кількості в ресурси для повторного використання. При реалізації такого підходу акцент робиться на зміні технологічного процесу й продукції з тим, щоб звести до мінімуму загальне утворення відходів. Це здійснюється шляхом контролю і оцінки залучених у виробничий процес природних ресурсів, продуктів і відходів на всіх етапах життєвого циклу: від процесу виробництва до кінцевого споживання. Основною технологічною вимогою стає застосування “найкращої з доступних

технологій” для маловідходного і безвідходного виробництва продукції і переробки відходів.

Виклад основного матеріалу

У 2008 - 2009 роках в Україні розглядались пропозиції і щодо впровадження вкрай необхідної державної науково-технічної програми поводження з відходами [3], яка би комплексно вирішувала проблему починаючи з мінімізації відходів при виробництві і споживанні продукції, утилізації і перероблення твердих побутових відходів, а також нейтралізації небезпечних відходів, технологічного і ресурсного забезпечення переробних підприємств тощо.

Українські нормативні документи формально містять еквівалентні європейським норми і процедури поводження з відходами, однак внаслідок недостатньої інтегрованості в економіку і систему територіального (і державного) управління не дають очікуваного ефекту і не створюють належні стійкі тенденції у вирішенні проблеми відходів в контексті сталого розвитку суспільства.

Територіальний аспект проблеми відходів пов'язаний з усвідомленням того, що наслідком економічного розвитку є збільшення кількості відходів на територіях населених пунктів і адміністративно-територіальних формувань. Зростання промислового виробництва веде до збільшення промислових відходів і промислова продукція після її споживання також перетворюється у відходи. Зростання сільськогосподарського виробництва веде до збільшення сільськогосподарських відходів і сільськогосподарська продукція після її споживання також перетворюється у відходи. Зростання будівельної індустрії веде до збільшення будівельних відходів і об'єкти будівництва з часом потребуватимуть ремонту і спричинятимуть збільшення будівельних відходів. Ріст кількості мешканців у населених пунктах та підвищення їхнього добробуту призводить до зростання споживання і, як наслідок, збільшення кількості побутових відходів, відпрацьованої побутової техніки, старих автомобілів, шин та інших засобів.

Відходи у ХХІ столітті стають предметом великої індустрії і їхнє ефективне використання забезпечуватиме значний ресурс для соціально-економічного розвитку територій, збереження довкілля і створення нових робочих місць.

Територіальний аспект проблеми відходів полягає в тому, що незалежно від походження відходів, їхнього продуцента чи власника і категорії відходів на територіях населених пунктів і адміністративно-територіальних формувань (селищної ради, району, області і держави в цілому) необхідно забезпечити їхню ідентифікацію, акумулювання і цільове (бажано безвідходне) перероблення – конверсію у сировинний чи паливний ресурс або екологічну нейтралізацію і захоронення.

Небезпечні і токсичні відходи повинні збиратися, транспортуватися і перероблятися на спеціалізованих підприємствах за сертифікованими технологіями, що гарантують їхню повну переробку або знешкодження. У разі відсутності таких підприємств на територіях, їх потрібно створити або вивозити відходи для перероблення на підприємства, що розташовані на інших територіях, або відмовитись від виробництв, що продукують такі відходи. Інакше, накопичення небезпечних і токсичних відходів може привести до непередбачуваних для життєдіяльності наслідків.

Промислові, будівельні, побутові та інші відходи, які продукуються на територіях або утворюються внаслідок споживання продукції, що завозиться з інших територій, можуть і повинні перероблятися у сировині і паливні ресурси на місцях виникнення. У разі економічної доцільності, такі відходи, наприклад, чорних і кольорових металів, можуть вивозитись для переробки на спеціалізованих підприємствах, що розташовані на інших територіях і гарантовано забезпечують їхню екологічну конверсію у сировинні та інші ресурси.

У Програмі поводження з твердими побутовими відходами, що була затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 04 березня 2004 р. №265, передбачено ряд безумовно необхідних заходів щодо створення умов для підвищення ефективності поводження з ТПВ, в тому числі створення автоматизованої системи управління у сфері поводження з ТПВ в населених пунктах. Виконання Програми дозволило активізувати впорядкування робіт з санітарного очищення населених пунктів і перероблення ТПВ, однак не забезпечує вирішення проблеми відходів в цілому.

Аналізуючи світові, перш за все європейські, тенденції у використанні відходів слід відмітити системний підхід і прагматизм

стратегій, спрямованих на зниження ролі матеріальних ресурсів у країнах з розвинутою економікою. Так, можливість направити на переробку кожен шматок алюмінію означає не тільки зменшення потреби в новому алюмінії, але також дає можливість уникнути частини повторних енергетичних витрат і утворення відходів.

Вторинне використання матеріалів дозволяє зберегти самі матеріали і використану при їх виробництві енергію. Згідно із прогнозами, підвищення ефективності використання енергії, якого досягнуть країни ЄС до 2010 р., буде на 50% результатом підвищення ефективності використання матеріалів. Економія матеріалів та енергозбереження економічно пов'язані між собою.

Найкраще використання відходів досягається при дотриманні наступної послідовності пріоритетів:

1. Запобігання виникненню (при виробництві і споживанні);
2. Зменшення кількості (економія ресурсів);
3. Повторне (відновне) використання матеріалів;
4. Конверсія сировини та енергії в корисні матеріали та альтернативні види палива;
5. Утилізація (захоронення) залишків.

В економічних умовах України при непередбачуваних коливаннях вартості палива раціоналізація поводження з відходами, повторне використання ресурсоцінних матеріалів та енергозбереження видаються необхідними для стабілізації економіки і охорони довкілля. Прийняття рішень у сфері поводження з відходами повинно базуватись на аналізі потоків ресурсів, переробних потужностей, транспортних можливостях, ринкової ситуації та інших складових управління, що за допомогою сучасних інформаційних і логістичних технологій дозволяє проводити багатоваріантне моделювання сценаріїв розвитку ситуації і відслідковувати зміни показників ефективності поводження з відходами.

Територіальні автоматизовані системи управління відходами

(ТАСУВ) могли би стати ефективним інструментом імплементації сучасних підходів до менеджменту ресурсами, в тому числі потенціалом відходів. Для цього необхідно визначити базові принципи побудови і функціонування таких ТАСУВ, означити їх мету та завдання.

До базових принципів організації ТАСУВ відносяться наступні:

1. Прив'язка ТАСУВ до території населених пунктів і адміністративно-територіальних утворень (територіальних органів влади);

2. Ієрархічна сумісність ТАСУВ нижнього рівня (населений пункт, місто) з ТАСУВ верхнього рівня (селищна рада, район, область);

3. Охоплення усіх видів відходів, виробництва і споживання на території (ресурсна комплексність);

4. Охоплення усіх засобів перероблення відходів, включаючи підприємства, потужності та технології (переробна комплексність);

5. Охоплення усіх місць захоронення залишків відходів;

6. Охоплення усіх видів транспортування відходів;

7. Можливість ієрархічного аналізу показників ефективності поводження з відходами на території;

8. Можливість багатоваріантного моделювання / оптимізації показників ефективності поводження з відходами на території (моделювання прийняття управлінських рішень, прогнозування наслідків).

Функціонування ТАСУВ проходить в рамках здійснення повноважень територіальних органів влади щодо реалізації програм соціально-економічного розвитку територій із застосуванням сучасних комп'ютерних інформаційних і логістичних систем.

Метою ТАСУВ є забезпечення неперервного управління відходами на території на основі систематичного комплексного контролю за виробництвом і споживанням, а також екологічним збиранням, транспортуванням, переробленням і захороненням залишків відходів. Типова структура ТАСУВ наведена на рис. 1.

ТАСУВ складається з наступних підсистем:

– інформаційно-аналітичної (призначена для збору, обробки і систематизації статичної та оперативної інформації про роботу територіальних об'єктів поводження з відходами);

– оперативного аналізу показників ефективності поводження з відходами (призначена для комплексного системного аналізу поточних показників ефективності поводження з відходами в розрізі накопичення, перевезення, перероблення, утилізації, захоронення залишків тощо);

– багатоваріантного моделювання ефективності поводження з відходами (призначена для опрацювання варіантів модернізації поводження з відходами шляхом використання нових технологій перероблення, систем сортування і утилізації, схем транспортування тощо);

– аналізу ресурсних потоків і відходів (призначена для планування підвищення економічної ефективності поводження з відходами);

– документування і звітності (призначена для формування документальної звітності щодо поводження з відходами на території).

Інформаційні потоки пов'язують ТАСУВ з територіальним органом управління і територіальними об'єктами поводження з відходами.

Безпосереднє управління територіальними об'єктами поводження з відходами здійснює територіальний орган управління.

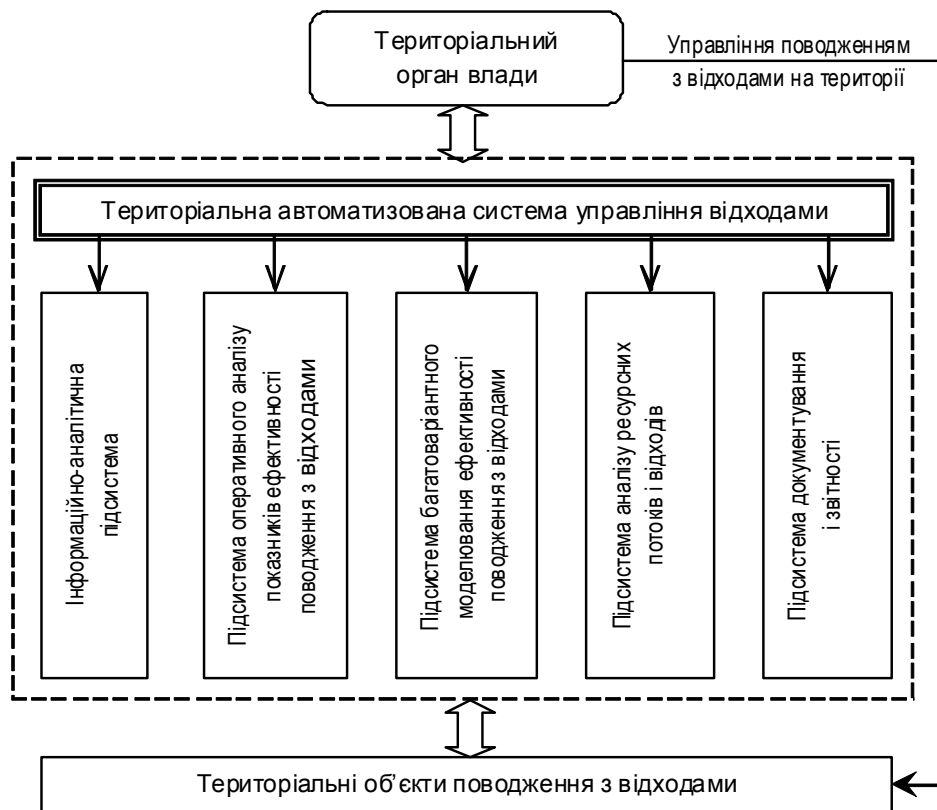


Рисунок 1 - Типова структура територіальної автоматизованої системи управління відходами

За допомогою ТАСУВ вирішуються наступні основні завдання:

1. Оперативний контроль за ефективністю і екологічністю використанням відходів;
2. Аналіз структури, способів і глибини переробки відходів та степені їх конверсії в корисні матеріали та енергетичні ресурси;
3. Планування підвищення ефективності поводження з відходами.

Впровадження ТАСУВ може проводитись поетапно, починаючи з нижніх рівнів і задач оперативного контролю з поступовим нарощуванням верхніх рівнів і завдань аналізу і планування в рамках єдиної стратегії оптимального використання відходів.

В цілому, впровадження ТАСУВ визначально сприятиме координації підвищення ефективності використання відходів і дозволить планомірно і цілеспрямовано реформувати систему поводження з відходами в Україні.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загальний стан загосподарювання відходами та шляхи вирішення проблеми відходів в Україні / М.І. Павлюк, І.В. Дудок, О.В. Гвоздевич, М.Р. Подольський // Prace Instytutu Nafty i Gazu, Nr. 164. – Kraków: INIG, 2009. – s. 131-139.
2. Полігони твердих побутових відходів: дегазація та рекультивація. / Бучинська А.В., Гвоздевич О.В., Кульчицька-Жигайло Л.З., Подольський М.Р., Стефаник Ю.В. // - Львів: «Тріада плюс», 2008 р. – 100 с.
3. Бондаренко Б.И., Жовтянский В.А. Проблема утилизации твердых бытовых отходов и обезвреживания опасных отходов в Украине: от проекта концепции – к государственной научно-технической программе. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – №4. – С. 63 – 69.

УДК 669.017

В.М. Козлов, В.П. Хлынцев

**ОБРАЗОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ
ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОЦК МЕТАЛЛОВ**

Анотація. У розвиток теорії електролітичної нуклеації проведені розрахунки роботи утворення кристалічних зародків із кристалографічними осями $\langle 110 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ і $\langle 111 \rangle$. Показано істотний вплив кристалізаційної перенапруги на число атомів у критичному зародку й число атомних шарів у цьому зародку. Зроблено висновок, що на початковій стадії електрокристалізації вісь текстури повинен бути напрямом $\langle 110 \rangle$ незалежно від величини кристалізаційної перенапруги.

Ключові слова. Кристалічний зародок, критичний зародок, текстура, кристалізаційна перенапруга, вісь текстури, електрокристалізація, індиферентна підложка.

Введение. При электроосаждении металлов на катоде в подавляющем большинстве случаев образуются поликристаллические покрытия, характеризующиеся преимущественной ориентировкой кристаллической решетки зерен (кристаллитов) или текстурой. Согласно экспериментальным данным текстура гальванических покрытий является аксиальной, то есть направление оси текстуры электроосажденных слоев $\langle hkl \rangle$ перпендикулярно поверхности подложки и совпадает с одной из осей симметрии кристаллической решетки данного металла.

Из анализа литературных данных по текстуре электролитических покрытий можно сделать вывод о наличии двух типов текстуры:

- начальной (первичной) текстуры с определенной осью $\langle h_1 k_1 l_1 \rangle$, которая возникает на самой начальной стадии гетерогенной электрокристаллизации, когда подложка в той или иной степени оказывает влияние на электроосаждение металла;

- текстуры роста (вторичной текстуры) с осью $\langle h_2 k_2 l_2 \rangle$, которая возникает при последующем росте покрытия "в толщину", когда подложка уже не влияет на процесс электрокристаллизации металлов.

© Козлов В.М., Хлынцев В.П., 2009

Так как механизмы возникновения первичной и вторичной текстуры электролитических покрытий различны, соответствующие им оси текстур $\langle h_1 k_1 l_1 \rangle$ и $\langle h_2 k_2 l_2 \rangle$ могут не совпадать. Этот факт впервые был экспериментально подтвержден исследованиями Г. Финча [1].

При изучении механизма возникновения начальной текстуры электролитических покрытий, которые осаждаются на чужеродную подложку, следует разграничивать два крайних случая, отличающиеся силой взаимодействия атомов осаждаемого металла с подложкой:

1. Электроосаждение на активную поверхность монокристаллической или поликристаллической подложки, когда взаимодействие атомов покрытия с подложкой относительно сильное, и тогда преимущественная ориентация зерен покрытий должна быть обусловлена эпитаксиальным влиянием подложки на процесс электрокристаллизации;

2. Электроосаждение на индифферентную (инертную) поверхность подложки, когда, ввиду отсутствия или относительно слабого взаимодействия атомов покрытия с подложкой, эпитаксиальное влияние подложки на процесс электроосаждения будет отсутствовать.

Для второго случая наибольший теоретический интерес, с нашей точки зрения, представляет теория текстурообразования Н. Пангарова [2]. Согласно этой теории образование текстуры в электроосажденных металлах обусловлено преимущественной ориентацией двумерных зародышей (т. е, зародышей моноатомной толщины), возникающих на поверхности инертной подложки. Направление оси начальной текстуры электролитических покрытий определялось путем сравнения работ образования двумерных зародышей A_{hkl} для разных ориентаций зародышей. Сами же значения A_{hkl} вычислялись с использованием представлений классической (молекулярно-кинетической) теории двумерного зародышеобразования [3, 4].

Однако, с нашей точки зрения, было бы более корректным в предложенной модели образования текстуры рассматривать не двухмерное, а трехмерное зародышеобразование, так как соответствующие расчеты показывают, что на инертной подложке при

реальных режимах электролиза критические зародыши являются многослойными, т. е. трехмерными. В связи с этим нами предложен другой способ расчета работы образования зародыша на инертной подложке с использованием идей атомистической теории зародышеобразования [5, 6]. Такой прием был нами использован при определении оси начальной текстуры металлических гальванопокрытий с ГЦК решеткой, осаждаемых на инертную подложку [7, 8].

Постановка задачи исследования. Задачей данной работы было проведение теоретического исследования стадии зародышеобразования на индифферентной поверхности с использованием атомистической теории электролитической нуклеации с целью определения оси начальной текстуры электроосажденных металлов с ОЦК кристаллической решеткой.

Методика и основные результаты исследования. Рассмотрим индифферентную подложку, на которой образуется многослойный зародыш, направление оси которого $\langle hkl \rangle$ перпендикулярно поверхности субстрата. Согласно атомистической теории зародышеобразования общее выражение свободной энергии Гиббса для возникновения рассматриваемого зародыша будет иметь такой вид [9]:

$$\Delta G_{hkl} = -ize_0\Delta\varphi + [i\varepsilon_{1/2} - E(i) - i_s\varepsilon'] \quad (1)$$

где i – число атомов в зародыше, z – валентность разряжающихся ионов, e_0 – абсолютный заряд электрона, $\Delta\varphi$ – абсолютное значение кристаллизационного перенапряжения, $\varepsilon_{1/2}$ – работа отрыва атома от полукристаллического положения, $E(i)$ – энергия связи между атомами зародыша, ε' – работа отрыва осаждаемого атома от инертной подложки, i_s – число атомов зародыша, находящихся в контакте с подложкой. В частном случае для монослойного зародыша $i_s = i$.

Уравнение (1) использовалось для определения работы образования критического зародыша, A_{hkl} , которое было равным максимальному значению ΔG_{hkl} , как функции числа атомов (от 1 до 1000) в зародыше при данном перенапряжении. При этом минимизировалось значение A_{hkl} для зародышей (как двумерных, так и трехмерных, состоящих из нескольких атомных слоев от 2 до 6) с ориентацией по осям $\langle 110 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$ (основным осям симметрии для ОЦК решетки).

Значения $\varepsilon_{1/2}$ и $E(i)$ в уравнении (1) определялись по методу "работ отрыва" [3, 4], согласно которому:

$$\varepsilon_{1/2} = N_1 \varepsilon_1 + N_2 \varepsilon_2; \quad (2)$$

$$E(i) = N'_1 \varepsilon_1 + N'_2 \varepsilon_2, \quad (3)$$

где ε_1 и ε_2 – работы отрыва двух соседних атомов железа, находящихся на расстоянии первого и второго порядка; N_1 и N_2 – число соседних атомов первого и второго порядка относительно атома, находящегося в полукристаллическом положении (для ОЦК решетки $N_1=4$ и $N_2=3$); N'_1 и N'_2 – число связей первого и второго порядка для атомов зародыша.

Принимая во внимание, что работа разрыва связи между двумя атомами ОЦК решетки обратно пропорциональна шестой степени от расстояния между ними [2], получим: $\varepsilon_2 = 0.42\varepsilon_1$. Тогда можно записать:

$$\varepsilon_{1/2} = 4\varepsilon_1 + 3\varepsilon_2 = 5.26\varepsilon_1 \quad (4)$$

Численное значение $\varepsilon_{1/2}$ определялось по теплоте сублимации железа Q_s : $\varepsilon_{1/2} = Q_s / 2NA$, а затем по уравнению (4) находилось значение ε_1 .

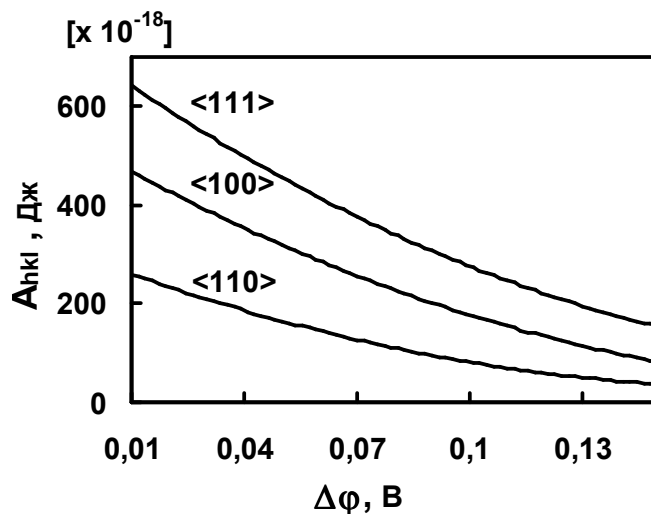


Рисунок 1 - Влияние кристаллизационного перенапряжения $\Delta\phi$ на работу образования критического зародыша A_{hkl} [$\times 10^{-19}$] на индифферентной подложке ($\varepsilon'=\varepsilon_1$), имеющего ось ориентации $\langle 110 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$

Результаты вычислений с применением компьютерной программы показали, что с ростом кристаллизационного

перенапряжения $\Delta\varphi$ понижается как число атомов в критическом зародыше i_{hkl}^* , так и число атомных слоев в этом зародыше n_{hkl}^* , то есть уменьшается высота критического зародыша. Сравнивая значения i_{hkl}^* и n_{hkl}^* , для различно ориентированных зародышей, наблюдаются следующие последовательности: $i_{110}^* < i_{100}^* < i_{111}^*$ и $n_{110}^* \leq n_{100}^* \leq n_{111}^*$ для каждого значения перенапряжения $\Delta\varphi$.

Было установлено, что с ростом кристаллизационного перенапряжения $\Delta\varphi$ работа образования критического зародыша A_{hkl} понижается для каждой из ориентаций зародыша (рис.1). Причем для любого значения $\Delta\varphi$ выполняется неравенство:

$$A_{110} < A_{100} < A_{111} \quad (5)$$

Из рис.1 видно, что с ростом кристаллизационного перенапряжения разница в значениях работ A_{110} , A_{100} и A_{111} постепенно уменьшается.

Согласно теории электрокристаллизации металлов вероятность возникновения критических зародышей W_{hkl} с ориентацией $\langle hkl \rangle$ связана с работой их образования следующей зависимостью [10]:

$$W_{hkl} = B \cdot \exp(-A_{hkl}/kT) \quad (6)$$

где B – константа.

Тогда с учетом выражения (5) можно записать:

$$W_{110} > W_{100} > W_{111} \quad (7)$$

Если принять, что из каждого критического зародыша при его дальнейшем росте образуется одно зерно поликристаллического покрытия, то тогда величины W_{hkl} в выражении (7) следует интерпретировать как вероятность образования кристаллитов (зерен) с соответствующей ориентацией вдоль направления $\langle hkl \rangle$.

Выводы.

1) Осью начальной текстуры ОЦК металлов, электроосажденных на индифферентной подложке, должно быть направление $\langle 110 \rangle$, перпендикулярное поверхности подложки, независимо от величины кристаллизационного перенапряжения $\Delta\varphi$.

2) Степень совершенства первичной текстуры с осью $\langle 110 \rangle$ (т. е. процент кристаллитов-зерен с указанной осью ориентации) должна понижаться с ростом величины $\Delta\varphi$. Можно предположить, что первичная текстура в покрытиях, полученных в условиях очень высоких перенапряжений $\Delta\varphi$, практически будет отсутствовать.

Полученный теоретический результат относительно оси начальной текстуры ОЦК металлов, осаждаемых на инертную подложку, может быть проверен экспериментально путем исследования текстуры очень тонких покрытий, чтобы исключить появление вторичной текстуры (текстуры роста), что будет являться предметом наших дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Finch G.I., Wilman H., Yang L. Texture of electrolytic deposits [Text] / G.I Finch, H.Wilman, L. Yang //Disc. Faraday Soc.-1947.-N1.-p.144-157.
2. Pangarov N.A. Texture formation of electrodeposits [Text] / N.A. Pangarov // Electrochim. Acta.-1962.-N7. -P.139-143.
3. Странский И.Н., Каишев Р.К. К теории роста кристаллов и образования кристаллических зародышей [Текст] / И.Н. Странский, Р.К. Каишев //Успехи физических наук.-1939.-№21.-С. 408-413.
4. Kaishev R., Bliznakov G. Zur Theorie der Ausscheidung von homopolaren Kristallen auf strukturlosen Unterlagen [Text] / R.Kaishev, G.Bliznakov //Compt. Rend. Acad. Bulgare Sci.-1949.-N 1.-P. 23-29.
5. Walton D. Nucleation of Vapor Deposits Nucleation [Text] / D.Walton //J. Chem. Phys.-1962.-N 37.-P.2182-2185.
6. Stoyanov S. On the Atomistic Theory of Nucleation Rate [Text] / S. Stoyanov //Thin Solid Films.-1973.-N 18.-P. 91-93.
7. Kozlov V.M., Peraldo Bicelli L. Texture formation of electrodeposited fcc metals [Text] / V.M. Kozlov, L. Peraldo Bicelli // Materials Chemistry and Physics.-2002.-N 77.-P. 289-232.
8. Козлов В.М., Хлынец В.П. О механизме образования начальной текстуры электроосажденных ГЦК металлов [Текст] / В.М Козлов, В.П.Хлынец //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.-2003.-№ 1(24).-С. 85-91.
9. Kozlov V.M., Peraldo Bicelli L. Formation of structural defects during non-coherent nucleation: An atomistic analysis [Text] /V.M Kozlov, L. Peraldo Bicelli //J. Crystal Growth.-1997.-N 177.-P. 289-293.
10. Erdey-Grus T., Volmer M. Zur Frage der elektrolytischen Metalluberspannung [Text] / T. Erdey-Grus, M.Volmer //Z. phys. Chem.-1931.-N 157A.-P.165-169.

УДК 621.924

А.Е. Проволоцкий, Мохеб Мохаммад

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ
СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ С ГИДРОАБРАЗИВНОЙ
ОБРАБОТКОЙ**

Аннотация. При шлифовании кругами из СТМ (синтетического сверхтвёрдого материала) определено, что на основе правильного выбора оптимальных режимов шлифования, с учётом оптимальных значений величины линейного износа зерна и с применением гидроабразивной струи можно повысить производительность, стойкость шлифовального круга и образовать матовый микрорельеф на обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова. Режимы шлифования, износ, гидроабразивная струя, производительность, эльбор, прижог.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.

Широкое освоение промышленностью производства синтетических алмазов и других сверхтвёрдых материалов стало одним из основных факторов ускорения научно-технического прогресса в машиностроении. В настоящее время невозможно представить развитие какой-либо отрасли без применения инструментов из синтетических сверхтвёрдых материалов. Благодаря своим непревзойденным физико-механическим и режущим характеристикам абразивные инструменты из синтетических сверхтвёрдых материалов (СТМ) успешно используются при обработке разнообразных материалов, начиная с пластичной меди и заканчивая самым прочным из встречающихся в природе материалов – алмазом, обработка которого обычным абразивным инструментом весьма затруднена. Особенно эффективно применение инструментов из СТМ при шлифовании таких труднообрабатываемых материалов, как твердые сплавы и высокопрочные стали, износостойкие наплавки и различные жаропрочные, конструкционные материалы, которые

широко используются в инструментальном производстве и горнорудной промышленности, металлургии и других отраслях.

Традиционно основным потребителем шлифовальных кругов из СТМ в металлообработке является инструментальное производство, требующее высококачественной обработки твердосплавных, быстрорежущих и алмазных однолезвийных и многолезвийных инструментов на операциях круглого наружного и внутреннего, плоского шлифования, а также на операциях заточки инструментов.

Исследованиями многих авторов [1, 2, 3, 4, 5] установлена четкая взаимосвязь работоспособности лезвийных режущих инструментов с методами их обработки на операциях заточки и шлифования. Применение обычных абразивных кругов, как правило, не обеспечивает требуемого качества изготовления таких инструментов. Возникающие в процессе шлифования на обрабатываемых поверхностях различные дефекты (прижоги, микросколы, трещины и т.д.) не всегда удается исправить последующей чистовой алмазной или эльборовой обработкой, что приводит к значительному браку инструмента и снижению его работоспособности при эксплуатации.

Указанных недостатков лишена обработка алмазными кругами или кругами из других СТМ. Замена на операциях шлифования абразивных кругов на алмазные или эльборовые позволяет до 1,5-2-х раз увеличить работоспособность инструмента, устранить брак по трещинам, сколам и выкрашиваниям режущих кромок, прижогам и другим структурным дефектам, присущим традиционным, пока еще широко применяемым на практике методам абразивной обработки. Такая эффективность обработки инструментов кругами из СТМ достигается за счет значительного снижения сил и температуры резания, повышения стойкости и надежности работы круга. Вместе с тем, несмотря на отмеченные преимущества, круги из СТМ эффективно применимы в основном при чистовом шлифовании и доводке, т.е. при съеме относительно небольших припусков. Использование кругов из СТМ в условиях предварительного шлифования, как правило, экономически нецелесообразно. Это обусловлено тем, что в современной металлообрабатывающей промышленности достигнут весьма высокий уровень производительности абразивного шлифования. Абразивный круг,

работая в режиме интенсивного износа и самозатачивания, особенно на операциях круглого наружного и плоского шлифования, позволяет реализовать производительность обработки в 2-10 раз и более превышающую соответствующую производительность шлифования кругами из СТМ. Такое соотношение интенсивностей съема материала получено из условия одинаковой себестоимости обработки. При ужесточении режимов алмазного шлифования наблюдается интенсивный рост износа круга, и ведение процесса в таких условиях становится неэффективным.

Основная часть. Теоретический подход к оптимизации режимов шлифования кругами из СТМ с гидроабразивной обработкой.

Проведенный в предыдущей части анализ опубликованных работ показал, что существующие процессы шлифования кругами из СТМ (включая многопроходное и глубинное шлифование) не могут быть эффективно использованы при съеме значительных припусков вследствие относительно низкой производительности обработки. Установлено, что основным фактором, сдерживающим повышение производительности обработки, является высокий уровень износа круга из СТМ, обусловленный преждевременным объемным разрушением и выпадением из связки круга практически изношенных зерен от действия чрезмерных механических нагрузок. Об этом свидетельствуют многочисленные экспериментальные данные, полученные в Институте сверхтвердых материалов НАН Украины, Харьковском политехническом институте, Одесском политехническом институте и т.д. Согласно этим данным, с увеличением производительности обработки число зерен с площадками износа значительно уменьшается (т.е. уменьшается параметр x), а число выпавших из связки круга малоизношенных зерен – резко увеличивается, достигая значений 70...80%, что приводит к весьма интенсивному увеличению удельного расхода алмаза. Противоположное влияние параметра x на производительность обработки и удельный расход алмаза указывает на существование экстремального (оптимального) значения этого параметра, определяющего максимально возможную производительность обработки при экономически приемлемом расходе алмазов. При этом уровень максимально возможной

производительности обработки зависит от параметра P , определяемого прочностью зерен и связки круга. С увеличением P производительность обработки увеличивается.

Таким образом показано, что добиться повышения производительности обработки можно за счет применения оптимальных режимов шлифования кругами из СТМ, полученных с учетом оптимальных значений физических параметров x и P , которые в свою очередь должны быть установлены с учетом прочностных свойств рабочей поверхности круга и технических ограничений обработки: экономически приемлемым износом круга из СТМ или минимальной себестоимости, параметрами качества и точности обрабатываемых поверхностей.

На основе указанного, первая теоретическая предпосылка может быть сформулирована так: выбор оптимальных режимов шлифования кругами из СТМ должен производиться с учетом оптимальных значений величины линейного износа зерен до момента его объемного разрушения или выпадения из связки круга и величины нагрузки, действующей на отдельное зерно.

Для реализации на практике установленных таким образом оптимальных режимов шлифования кругами из СТМ оптимальные значения параметров x и P должны в процессе шлифования поддерживаться постоянными. Для этого могут быть использованы условия работы круга в режиме самозатачивания. Однако реализовать режим самозатачивания для кругов из СТМ на высокопрочных металлических связках весьма сложно, т.к. они интенсивно засаливаются и быстро теряют режущую способность. С созданием прогрессивных методов комбинированного шлифования кругами из СТМ, основанных на введении в зону резания или автономно к кругу дополнительной электрической энергии, возможности повышения режущей способности круга значительно расширились. Эффективное электроэрозионное или электрохимическое воздействие на рабочую поверхность круга позволяет вскрыть алмазные зерна на значительную высоту, полностью исключает засаливание круга и обеспечивает управление режущим рельефом круга. Это создает объективные предпосылки для эффективного регулирования в процессе шлифования оптимальными значениями параметров x и P , независимо от прочностных свойств

металлической связки, что является необходимым условием применения на практике оптимальных режимов шлифования, в максимальной степени реализующих высокие режущие свойства кругов из СТМ.

С учетом сказанного вторая теоретическая предпосылка может быть сформулирована следующим образом: оптимальные значения величины линейного износа зерен до момента его объемного разрушения или выпадения из связки и величины нагрузки, действующей на отдельное зерно, в процессе шлифования должны поддерживаться постоянными за счет дополнительного электрофизикохимического воздействия на рабочую поверхность круга или осуществление работы круга в режиме самозатачивания, реализуя таким образом оптимальные режимы шлифования.

Таким образом, первая и вторая теоретические предпосылки определяют условия достижения максимально возможной производительности обработки и реализующих ее режимов шлифования, однако не определяют методику их расчета. Поэтому, последующие теоретические предпосылки будут направлены на решение этой задачи, для чего необходимо провести анализ основных теоретических подходов к расчету физических и технологических параметров процесса шлифования.

Длительное время в теории шлифования преобладал макроскопический подход к расчету основных параметров обработки, рассматривающей зону резания в виде «пятна» контакта круга с заготовкой, в пределах которого режущие зерна в одинаковой степени участвуют в съеме материала. Родоначальником такого подхода по праву является проф. Маслов Е.Н., который в своих работах [6, 7-9] впервые в системном виде предложил расчетные зависимости для определения средней толщины среза отдельным зерном, количество одновременно работающих зерен, длины среза и других параметров для различных кинематических схем шлифования. Несмотря на весьма упрощенный подход к расчету параметров шлифования и значительное расхождение экспериментальных и расчетных данных, предложенные проф. Масловым Е.Н. расчетные зависимости не утратили своей значимости и в настоящее время широко используются для анализа и оптимизации процесса шлифования, но гидроабразивная обработка не производилась.

Таким образом, третья теоретическая предпосылка может быть сформулирована так: переменность углов входа условных элементарных слоев снимаемого припуска в рабочую поверхность круга вдоль дуги контакта круга с заготовкой и вероятностный характер участия зерен в резании должны сформировать сложную по конфигурации границу завершения диспергирования режущими зернами подводимого в зону резания обрабатываемого материала, определяющей положение условной поверхности резания и являющейся основой для расчета, оптимизации и управления процессом шлифования с гидроабразивной обработкой.

Исходя из этого, предпосылка может быть сформулирована так: вполне однозначное математическое представление процесса шлифования положением условной поверхности резания должно предопределить существование замкнутой системы уравнений, с единых позиций описывающих основные физические и технологические параметры шлифования во взаимосвязи с режимом шлифования, характеристиками круга и заготовки, включая величину линейного износа зерна до момента его объемного разрушения или преждевременного выпадения из связки круга без разрушения и величину предельной нагрузки, действующей на отдельное звено круга.

Для вероятностного описания участия зерен в резании введена новая вероятностная функция – относительная полнота профиля круга $\varepsilon(y)$, которая по структуре построения аналогична относительной опорной длине микропрофиля обработанной поверхности и учитывает перекрытие проекции зерен на радиально движущийся обрабатываемый образец.

Снимаемый припуск в расчетной схеме представлен пакетом бесконечно тонких цилиндрических оболочек, которые под разными углами входят в рабочую поверхность круга.

В результате взаимодействия оболочек с зернами, с каждой оболочки происходит срезание металла, описываемое функцией $\varepsilon_n(y)$:

$$\varepsilon_n(y) = 1 - \exp \left\{ - \frac{\sqrt{2} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{кр}}{3 \cdot b \cdot V_{заг} \cdot \sqrt{\rho}} \cdot \left[\frac{y^3}{2 \cdot \sqrt{t_{nT}}} + \sum_{i=0}^{n-2} t_{iT}^{5/2} \right] \right\} + G.A.O. \quad (1)$$

где k – поверхностная концентрация зерен круга, шт/ м^2 ; b –

максимальная высота выступления вершин зерен над уровнем связки круга, м; 2γ – угол при вершине конусообразного режущего зерна; $V_{кр}, V_{заг}$ – соответственно скорости круга и заготовки, м/с; $\rho = \frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{заг}}$; где $R_{кр}, R_{заг}$ – соответственно радиусы круга и заготовки, м; $t_{iT} = t_T + i \cdot t$ – координата оболочки при i -том контакте ее с кругом, м; $t_{nT} = t_T + (n-1) \cdot t$ – координата оболочки при n -ном контакте ее с кругом, м; t_T – координата текущей бесконечно тонкой оболочки, которыми условно представлен снимаемый припуск, м; n – число проходов круга.

Основу разработанной кинематической модели шлифования составляет аналитическое решение об описании границы завершения диспергирования режущими зернами материала, подводимого в зону резания, вдоль дуги контакта круга с заготовкой:

$$H = \sqrt[3]{2} \cdot \sqrt[6]{t_{nT}} \cdot \sqrt[3]{\frac{H_{max}^3}{2 \cdot \sqrt{t_{nT_{экстр}}}} + \sum_{i=0}^{n-2} t_{iT_{экстр}}^{5/2} - \sum_{i=0}^{n-2} t_{iT}^{5/2} + \Gamma.A.O.}, \quad (2)$$

где H_{max} – максимальная толщина среза, м; $t_{nT_{экстр}}$ – координата экстремального положения оболочки, у которой полный профиль $\varepsilon(y) = 0,95$ образуется на уровне H_{max} , м; $t_{iT_{экстр}}$ – координата экстремального положения оболочки при i -том контакте ее с кругом, м.

Граница проведена по вершинам микронеровностей обрабатываемого материала, имеет сложную конфигурацию, соединяет обрабатываемую поверхность с обработанной и по аналогии с лезвийной обработкой определяет положение условной вероятностной поверхности резания при шлифовании. Характерные точки границы являются основой для расчета физических и технологических параметров шлифования (максимальной толщины среза, шероховатости обработанной поверхности, фактической длины контакта круга с заготовкой и т.д.). Это позволяет с единых позиций вполне однозначно аналитически описать закономерности процесса шлифования во всем возможном диапазоне изменения глубины шлифования (включая диапазоны многопроходного и глубинного шлифования).

Расчетами установлено, что положение границы определяется соотношением двух параметров – максимальной (приведенной вероятностной) толщины среза H_{max} и глубины шлифования t . В случае $t < H_{max}$ (многопроходное шлифование) граница принимает примерно симметричную форму относительно осевой плоскости шлифования, в случае $t > H_{max}$ (глубинное шлифование) – ассиметричную форму.

Расчетами установлено, что процент работающих зерен для случая $t > H_{max}$ составляет приблизительно 50%, а для случая $t < H_{max}$ – 5...10% (т.е. зерна проходят почти «след в след», что, как будет показано выше, является важным фактором увеличения производительности обработки).

В случае $t > H_{max}$ аналитическая зависимость для определения границы принимает простой вид:

$$H = H_{max} \cdot \sqrt[6]{\frac{t_T}{t}}, \quad (3)$$

где t_T – координата текущей элементарной (бесконечно тонкой) цилиндрической оболочки, которыми условно представлен в расчетной схеме снимаемый припуск, м.

Соответственно, параметры границы H_{max} и R_{max} (параметр шероховатости обработки, м) описываются аналитическими зависимостями

$$H_{max} = \left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{заг} \cdot t^{0,5} \cdot \rho^{0,5}}{m \cdot V_{кр}} \right)^{0,33} + \Gamma.A.O., \quad (4)$$

$$R_{max} = 10 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{заг} \cdot \rho^{0,5}}{m \cdot V_{кр}} \right)^{0,4} - \Gamma.A.O., \quad (5)$$

где $\bar{X}$ – зернистость круга, м; m – объемная концентрация; $V_{заг}$, $V_{кр}$ – соответственно скорости заготовки и круга, м/с;

$$\rho = \frac{1}{R_{заг}} + \frac{1}{R_{кр}},$$

где $R_{кр}$, $R_{заг}$ - соответственно радиусы круга и заготовки, м;

Полученные результаты уточнены в рамках разработанной физической модели шлифования. Установлены расчетные зависимости, которые содержат новый безразмерный параметр $\eta = \frac{x}{H}$, определяющий степень линейного износа зерен и изменяющийся в пределах 0...1 (для «острого» зерна $\eta \rightarrow 0$, для затупившегося $\eta \rightarrow 1$):

$$H_{max} = \left[\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{заг} \cdot t^{0.5} \cdot \rho^{0.5} \cdot (1-\eta)^2}{m \cdot V_{кр} \cdot (1+\eta)} \right]^{0.33} + Г.А.О. \quad (6)$$

$$R_{max} = 10 \cdot \left[\frac{(1-\eta)^2}{(1+\eta)} \cdot \frac{\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{заг} \cdot \rho^{0.5}}{m \cdot V_{кр}} \right]^{0.4} - Г.А.О. \quad (7)$$

С учетом параметра η ($\eta > 0$) значения H_{max} и R_{max} уменьшаются. Следовательно, уменьшается (и даже устраняется) расхождение между расчетными и экспериментальными значениями H_{max} .

Из этого следует, что учет величины линейного износа зерна x (посредством параметра η) в расчетных зависимостях позволяет привести в соответствие теорию и практику шлифования.

Из всех входящих в зависимости параметров (6, 7), наибольшее влияние на H_{max} и R_{max} оказывает η . Это указывает на преобладающую роль величины η в формировании основных физических и технологических параметров шлифования и подтверждает выдвинутую гипотезу об эффективности управления процессом шлифования на основе регулирования величины η .

Проведенный анализ известных методов алмазного и абразивного шлифования показал, что все они, как правило, реализуют условие $t = H_{max}$, т.е. минимум производительности обработки Q . Очевидно, для абразивного шлифования это эффективно, т.к. за счет действия на зерна больших нагрузок обеспечивается режим интенсивного самозатачивания круга и поддерживается его высокая режущая способность. Для алмазного шлифования это условие приводит к повышенному износу круга, что,

собственно, и предопределяет низкую эффективность применения алмазных кругов при высокопроизводительном шлифовании и нецелесообразности их использования взамен обычных абразивных кругов при съеме больших припусков.

Полученная экстремальная зависимость $Q-t$ определяет кинематические условия существенного повышения производительности обработки, состоящие в реализации новых соотношений между параметрами t и H_{max} ($t < H_{max}$, $t > H_{max}$), т.е. в реализации левой и правой ветвей зависимости.

На этой основе разработаны новые способы шлифования, реализующие левую ветвь зависимости $Q - t$. Они базируются на применении схем многопроходного и глубинного круглого наружного шлифования с относительно большой скоростью заготовки, близкой к скорости круга; схем глубинного круглого наружного шлифования периферией круга с относительно небольшой скоростью заготовки и большой продольной подачей; схем глубинного круглого наружного шлифования с относительно небольшой скоростью заготовки и дополнительными тангенциальными высокочастотными движениями круга большой амплитуды; схем глубинного плоского торцового шлифования с использованием дополнительных высокочастотных колебательных движений круга или заготовки в направлении, перпендикулярном направлению подачи круга.

Установлено, что эффективность шлифования в данном случае обусловлена прохождением зерен почти «след в след» и возможностью увеличения H_{max} при фиксированном значении S (т.е. нагрузки, действующей на зерно), что позволяет обработку вести с большой скоростью круга $V_{кр}$ до 600 м/с и выше. Применение таких условий обеспечит увеличение производительности обработки в 10 раз и более, что хорошо согласуется с опытом зарубежных станкостроительных фирм, которые вышли на создание шлифовальных станков со скоростью круга до 300 м/с.

Реализация предложенных схем шлифования требует создания новых станков, обеспечивающих большие скорости круга и заготовки. Это позволит кардинально изменить содержание шлифовальных операций с гидроабразивной обработкой.

Дальнейшее изучение гидроабразивной обработки узкими целевыми струями позволит создать новые технологические схемы формообразования поверхностей деталей из различных материалов.

В технологических расчетах необходимо знать величину линейного съема материала за некоторый промежуток времени. Процесс гидроабразивной обработки можно описать дифференциальным уравнением:

$$\frac{dx}{dt} = K_1(Q - x), \quad (8)$$

где Q – общий линейный припуск, который необходимо снять струей; x – текущий съем за время воздействия струи на всю обрабатываемую поверхность; K_1 – коэффициент разрушения.

Выводы. С использованием такой технологии проведено много экспериментальных исследований. Шлифовальный круг очищается гидроабразивной струей от снятых металлов заготовок. На обработанных деталях образуется матовая шероховатость и меньше, чем при обычном шлифовании. Перспектива такой технологии – внедрение при обработке деталей, износостойкость которых повышается.

По таким научным и технологическим планам разработано несколько технологий для обработки разных деталей и повышения срока эксплуатации шлифовальных кругов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Внуков Ю.Н. Исследование процесса высокопроизводительного шлифования быстрорежущих сталей кругами из дробленых сверхтвердых поликристаллов. – Автореф. ...канд. техн. наук, - Тбилиси, 1977. – 21 с.
2. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. – Харьков: Вища шк., 1985. – 184 с.
3. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. – К.: Техніка, 1980. – 212 с.
4. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Зубкова М.Я., Раб А.Ф., Воронков В.И., Эльборовое шлифование быстрорежущих сталей. – Харьков: Вища школа, 1974. – 136 с.
5. Семко М.Ф., Узунян М.Д., Сизый Ю.А., Пивоваров М.С. Работоспособность алмазных кругов. – К.: Техніка, 1983. – 95 с.

6. Маслов Е.Н. Механизм работы абразивного зерна при шлифовании.
– В кн.: Основные вопросы высокопроизводительного шлифования.
– М.: Машгиз, 1960. – 196 с.
7. Маслов Е.Н. Теоретические основы процесса алмазного шлифования материалов. – В кн.: Синтетические алмазы в промышленности. – К.: Наук. Думка, 1974. – С. 125-129.
8. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
9. Маслов Е.Н., Попов С.А. Абразивная обработка металлов. – В кн.: Развитие науки о резании металлов. – М.: Машиностроение, 1967. – С. 335-378.

УДК 669.162.2

Н.А. Колбин, Л.В. Камкина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ГАЗОВОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ В СЛОЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Проведено исследование позволяющее оценить изменение объема железорудных окатышей по высоте слоя в ходе восстановительного процесса. Показана связь изменения объема и степени восстановления окатышей. Статические нагрузки возникающие в слое невелики и прочность окатышей определяется не исходной прочностью окатышей, а процессами происходящими при восстановлении.

Ключевые слова. Окатыш, восстановление, прочность, объем, реакционная зона.

Введение. Прочность, наряду с восстановимостью, является определяющим металлургическим свойством железорудных материалов. К прочности окатышей предъявляются повышенные требования. При транспортировке и многочисленных перегрузках они должны сохранять свои физические параметры и свойства. Железорудные окатыши в процессе их металлизации в установках прямого восстановления или в доменной печи подвергаются одновременному воздействию высоких температур, восстановительной среды, динамическим и статическим нагрузкам столба шихтовых материалов. Учитывая важность этих требований, окатыши должны обладать необходимой суммой свойств, противостоящих указанным воздействиям.

Наиболее распространенным методом оценки прочностных свойств окатышей является определение сопротивления воздействию статических нагрузок (сжатие) как вне реактора, так и в процессе восстановления. Этот метод удобен для оценки характеристик материала и определения его прочности на сжатие, но становится неприемлемым для получения непрерывных характеристик, поскольку такое испытание связано с необратимыми изменениями структуры образца. Непрерывно удастся проследить за другой

характеристикой, непосредственно связанной с прочностью на сжатие – изменение объема образца (разбухаемость).

Постановка задачи. Целью работы является определение закономерностей изменения объема окатышей в процессе газового восстановления в слоевых условиях и их связь со степенью восстановления.

Основная часть. Изучали изменение объема окисленных окатышей СевГОКа в слоевых условиях при восстановлении водородом. Окатыши содержали 28,5% кислорода связанного с железом, имели кажущуюся плотность $4,12 \text{ кг/м}^3$, относительную пористость 0,25 и средний диаметр 0,72 см. Используемые методики исследования изменения объема окатышей и их восстановимости описаны в работах [1-3]. Известно, что механические свойства обожженных окатышей зависят от их размеров и условий обжига [4], отмечается при этом, что существует оптимальный размер окатышей. Было установлено, что окатыши выше определенного размера будут иметь окисленную оболочку глубиной 5-6 мм и не окисленное ядро. Авторы показали, что между окисленной оболочкой и магнетитовым ядром имеется зона с повышенной пористостью и большое количество макротрещин, что вызвано различными коэффициентами объемного термического расширения гематита и магнетита. В связи с этим уменьшается прочность окатышей на раздавливание. Естественно, что окатыши меньшего диаметра обжигаются на всю глубину, но как указывается в работе [5], они создают больший гидродинамический подпор, что осложняет работу шахтных агрегатов.

Нами были проанализированы и рассчитаны статические нагрузки, которые могут возникать в слое железорудного материала в зависимости от типа укладки окатышей в слое и их диаметра. Для примера рассмотрели шахтную печь ВНИИМТ[6] диаметром 2 м, высотой 7,7 м и сечением $3,14 \text{ м}^2$. Расчеты были проведены для кубической и гексагональной укладки окатышей. Данные расчетов представлены в таблице 1, а на рис.1 представлено изменение статической нагрузки в зависимости от высоты слоя. При расчетах гексагональной укладки, необходимо учесть, что расстояние между параллельными слоями равно $0,707$ диаметра шара [7], в отличие от кубической, когда эта величина равняется единице.

Как показывают полученные данные, нагрузка на нижний слой, для всех диаметров окатышей, одна и также, но за счет разного количества окатышей в одном слое, нагрузка на один окатыш нижнего слоя разная. Из таблицы следует, что при увеличении диаметра окатыша в 4 раза нагрузка возрастает в 16 раз, т.е. пропорционально корню квадратному.

Таким образом, согласно данным, приведенным в таблице 1, чем меньше диаметр окатыша, тем меньше нагрузка на него. Размер окатыша должен быть определенной величины, т.к. с уменьшением размера увеличивается подпор и ухудшается гидродинамический режим работы печи. Расположение окатыша внизу слоя приводит к возрастанию давления и тем прочнее он должен быть. При гексагональной укладке нагрузки возрастают в 1,4 раза в сравнении с кубической. Диаметр реактора не оказывает влияния на статическую нагрузку, а с увеличением высоты реактора она прямо пропорционально увеличивается. Так при высоте реактора 20м и диаметре окатышей 10мм нагрузка на нижний окатыш составит 4,29кг в случае кубической укладки и 6,0кг при гексагональной укладке. Нагрузки в реальном слое должны находиться в этом интервале. Полученные значения нагрузки на один окатыш свидетельствуют о том, что статические нагрузки в слое незначительны и, по всей вероятности, образование мелких фракций материала при восстановительно – тепловой обработке в большей степени связаны с динамическими нагрузками, т.е. истиранием, а также процессами, происходящими при восстановлении железорудных окатышей.

Таблица

Расчетные данные для определения нагрузки в слое

D, См	Тип укладки									
	Кубическая					Гексагональная				
	N	M ₁ , кг	N	P, Т	p ₁ , кг	n	M ₁ , кг	N	P, Т	p ₁ , кг
0,5	125700	33,94	1540	52	0,414	125665	33,93	2178	74	0,59
1	31430	67,575	770	52	1,65	31428	67,57	1089	74	2,35
2	7854	135,87	385	52	6,62	7859	135,9	544	74	9,4

Обозначения, принятые в таблице: D – диаметр окатыша; n – количество окатышей в одном слое; $M1$ – масса одного слоя; N – количество слоев; P – нагрузка на нижний слой; $p1$ – нагрузка на один окатыш нижнего слоя.

В опытах с единичными окатышами [1] было показано, что прочность находится в прямой зависимости от изменения объема окатышей. Чем больше изменение объема, тем меньше прочность и наоборот. В данной работе исследовано изменение объема окатышей в условиях восстановления железорудных окатышей в линейном слое. На рис.2 представлен образец оформления экспериментальных данных по изменению степени восстановления и объема окатышей при их восстановлении в линейном слое. Из рис.2 видно, что максимальное увеличение объема приходится на завершение перехода Fe_2O_3 в FeO в дальнейшем идет уменьшение объема, за счет спекания металлического железа. Максимальное увеличение объема наблюдалось для температуры $1050^{\circ}C$ – 35%. Из полученных данных следует, что резкое падение прочности должно происходить при переходе Fe_2O_3 в FeO . Также следует отметить, а следовательно и изменение прочности железорудных окатышей, которое тесно связано с процессом восстановления.

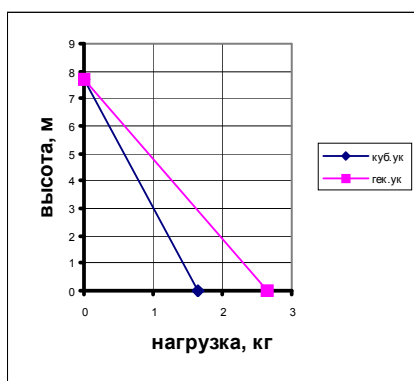


Рисунок 1 – Влияние способа укладки и высоты слоя на статическую нагрузку одного окатыша. Диаметр окатыша 10мм

В соответствии с теоретическими предпосылками [8] и экспериментальными данными [2,3], слой в установившемся режиме при температурах выше $840^{\circ}C$ состоит из 2х зон активного реагирования: $FeO-Fe$ и Fe_2O_3-FeO , а также зон постоянного состава Fe_2O_3 , FeO и Fe . Учитывая это, а также исследования по определению прочности и изменения объема, можно предложить

следующую физико-химическую модель спекания окатышей при восстановлении в слоевых условиях (расположение сверху вниз):

- спекание гематита;
- увеличение объема за счет превращения гематит-вюстит;
- спекание вюstitа;
- спекание за счет появления металлического железа;
- спекание металлического железа.

Установлено, что при восстановительно тепловой обработке увеличение объема окатышей и, следовательно, их разупрочнение, происходит в одной реакционной зоне: гематит – вюстит. В остальных зонах происходят процессы, способствующие упрочнению железорудных окатышей. При выборе способа организации процесса восстановления в слоевых условиях необходимо чтобы зона разупрочнения располагалась в верхних горизонтах печи. В этих условиях на разупрочненный в результате химического превращения окатыш будут воздействовать минимальные статические и динамические нагрузки.

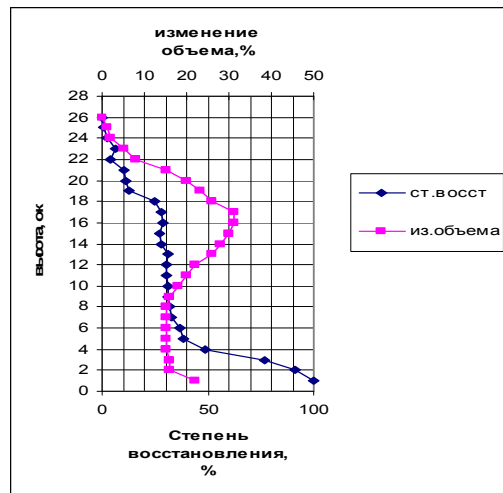


Рисунок 2 – Влияние степени восстановления на изменение объема окатышей при восстановлении линейного слоя водородом. $T = 1000^{\circ}\text{C}$, Расход H_2 - 1л/час, Время выдержки -120мин

Это достигается согласованием температурного режима, массового расхода газа-восстановителя, влияющих на скорость передвижения реакционных зон, со скоростью разгрузки металлизированных окатышей в восстановительном агрегате.

Выводы. При восстановлении в слоевых условиях максимальное разупрочнение окатышей происходит на стадии восстановления гематита в вюстит. В дальнейшем происходит

упрочнение окатышей за счет появления металлического железа. Статические нагрузки в слое невелики и уменьшаются с уменьшением диаметра окатышей. Для уменьшения разрушения окатышей при восстановлении в слоевых условиях необходимо вести процесс восстановления таким образом, чтобы зона перехода гематита в вюстит располагалась на верхних горизонтах печи. Размер окатышей должен быть минимальным и его размер необходимо оптимизировать с учетом гидродинамического подпора. Уменьшению количества разрушенных окатышей будет способствовать использование окатышей с повышенным содержанием вюстита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование изменения объема и прочности окатышей при газовом восстановлении / Костелов О.Л., Рожков А.Д., Колбин Н.А. и др. // *Металлургия и коксохимия: республиканский межведомственный научно-технический сборник №70*, - К., Техника, 1980.- С. 45-47.
2. Исследование кинетики восстановления слоя железорудных материалов газами / Костелов О.Л., Степанов О.А., Колбин Н.А. и др. // *Физикохимия прямого получения железа: сб. материалов Всесоюзной научной конференции / отв.ред. Ростовцев С.Т.* - М. Наука, 1977. - С. 123-128.
3. Скорость восстановления окатышей в линейном слое / Костелов О.Л., Колбин Н.А. // *Физико-химические исследования процессов восстановления окисных систем: сб. научных трудов №149 / отв.ред. Рыжонков Д.И.* - М. Metallurgia, 1983. – С. 36-40.
4. Качула Б.В. Свойства качканарских окатышей различной крупности / Б.В. Качула, Л.А. Фованов // *Бюллетень ЦНИИЧермет.* – 1974. – 23(739). – С. 26-28.
5. *Металлургия чугуна : [учебник для студентов металлургических вузов]* / Е.В. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин. – М. : Metallurgia, 1989. – 512 с.
6. Князев В.Ф. Бескоксовая металлургия железа / В.Ф. Князев, А.И. Гиммельфарб, А.Н. Неменов. – М. Metallurgia, 1972. - 272с.
7. Аэров М.Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Д.А. Наринский.- Л.: Химия, 1979. – 176 с.
8. Колбин Н.А. Формирование реакционных зон при восстановлении слоя железорудных окатышей водородом / Камкина Л.В., Костелов О.Л., Ежи Сивка, Стомба Я.В. // *XV Международная научная конференция «Новые технологии и оборудование в металлургии и инженерном материаловедении» - Политехника Ченстоховская – Польша – Ченстохов – 2007.* С. 74-79.

УДК 621.717:669.046

К.М. Ялова, А.М. Павленко

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ РОБОТИ ДУГОВИХ ПЕЧЕЙ НА ЕТАПІ ПРОПЛАВЛЕННЯ КОЛОДЯЗІВ

Анотація. В роботі розглянуто етап проплавлення колодязів теплової роботи дугової сталеплавильної печі. Проаналізовані процеси теплообміну, що мають місце в об'ємі шихти, «болота» та футеровки печі. Зроблено математичний опис процесу проплавлення колодязів з урахуванням початкових і граничних умов теплообміну.

Ключові слова. Математична модель, електродугова піч.

Постановка проблеми

Сьогодні спостерігається стрімкий ріст долі електросталеплавильного виробництва в загальному обсязі технологій виготовлення сталі. В цілому, прогнозується, що до 2015 року світове виробництво електросталі складе приблизно 35-40% від загального об'єму виробленої сталі, а в Україні це значення складе 8-10%. Зростаючий дефіцит енергоресурсів і зростання їх вартості викликає необхідність пошуку нових технологічних рішень при створенні нових і модернізації діючих дугових сталеплавильних печей, використання альтернативних джерел теплоти, удосконалення існуючих технологічних процесів для зниження питомих витрат енергоносіїв. Оптимізація технологічних процесів в дугових печах з метою скорочення енергоспоживання і скорочення тривалості плавлення є важливою і актуальною задачею при проведенні експериментальних і теоретичних досліджень.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Незважаючи на актуальність пошуку енергозберігаючих режимів і схем завантаження при розплавленні металошихти у дугових печах, цьому питанню присвячено досить обмежений перелік робіт таких авторів, як: Єгоров А.В., Ігнатов І.І., Тимошпольський В.І.. В теперішній час в літературі подано інформацію щодо енергетичного режиму роботи печі та залежності тривалості плавки від увідної потужності. Однак, процес плавлення не розглядається достатнім чином з точки зору теорії тепломасообміну з врахуванням

законів і механізмів передачі теплоти на кожній окремій стадії теплової роботи печі і в процесі плавки в цілому. А необхідність урахування таких видів теплообміну як: конвективно-радіаційний теплообмін футеровки з повітрям, конвективний теплообмін з пічними газами, теплопередача від стікаючого розплаву, радіаційний теплообмін в колодязях між шихтою і поверхнею електродів носять суперечливий характер.

Формулювання мети статті

Реконструкція функціонуючих дугових печей, проектування нових, введення в експлуатацію нових енергозберігаючих способів плавлення неможливі без детального аналізу теплової роботи печі. В наш час це можна зробити ефективним і економічним методом математичного моделювання. Для створення математичної моделі необхідно докладно проаналізувати фізичні процеси тепломасообміну та механізми передачі теплоти для кожного окремого етапу теплової роботи печі. Також актуальним питанням є створення ефективної методики, алгоритму та програми для розрахунку на ЕОМ.

Теплова робота дугових сталеплавильних печей умовно поділяється на чотири стадії або етапи: запалення дуг, проплавлення колодязів, закритого горіння дуг і доплавлення металошихти відкритими дугами. Основною ціллю етапу запалення дуг є встановлення стійкого горіння дуги між поверхнею електродів і завалочними матеріалами. Тривалість цього етапу в основному залежить не від теплових процесів, що мають місце в робочому просторі, а від особливостей роботи пічного трансформатора і електричного обладнання в цілому. Тому етап запалення дуг можна вважати підготовчим технологічним етапом [1]. Після встановлення стійкого горіння дуг розпочинається етап проплавлення колодязів. Проаналізуємо теплові процеси, що мають місце в період цього етапу.

Основна частина

Джерелом теплоти в об'ємі шихти на цьому етапі є енергія електричної дуги, енергія згоряння палива в пальниках (при їхньому використанні), теплота утворюваного „болота”, теплота стікаючого розплаву та теплота футеровки печі, акумульованої від попереднього етапу. Рухливими границями в період, який розглядається є верхня границя „болота” $Z_6(\tau)$, що переміщується із-за стікання до нього рідкого металу, границі областей колодязів $Z_{ik}(\tau)$, а також границя

бокової поверхні шихти в зоні дії газокисневих пальників (за умови їх роботи пальників).

Теплота в шихті, болоті та футеровки печі передається теплопровідністю і описуються відповідними рівняннями:

$$c_{ш}\rho_{ш}\frac{\partial T_{ш}}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(\lambda_{ш}r\frac{\partial T_{ш}}{\partial r}) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}(\lambda_{ш}\frac{\partial T_{ш}}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda_{ш}\frac{\partial T_{ш}}{\partial z}) + Q_{гор},$$

$$Z_{б} < z \leq Z_{ш}, \quad (1)$$

$$c_{б}\rho_{б}\frac{\partial T_{б}}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(\lambda_{б}r\frac{\partial T_{б}}{\partial r}) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}(\lambda_{б}\frac{\partial T_{б}}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda_{б}\frac{\partial T_{б}}{\partial z}),$$

$$Z_{ф} < z \leq Z_{б}, \quad (2)$$

$$c_{ф}\rho_{ф}\frac{\partial T_{ф}}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(\lambda_{ф}r\frac{\partial T_{ф}}{\partial r}) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}(\lambda_{ф}\frac{\partial T_{ф}}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda_{ф}\frac{\partial T_{ф}}{\partial z}),$$

$$0 \leq z \leq Z_{ф}, \quad R_{ш} < r \leq R_n. \quad (3)$$

за умови $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$, де далі $T_{ш} = f(r, \varphi, z, \tau)$ – температура, $^{\circ}\text{C}$ шихти; $c_{ш} = f(T_{ш})$, $\lambda_{ш} = f(T_{ш})$, $\rho_{ш} = f(T_{ш})$ – масова теплоємність, $\text{Дж} / \text{кг}^{\circ}\text{C}$, коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт} / \text{м}^{\circ}\text{C}$, щільність, $\text{кг} / \text{м}^3$ шихти відповідно; r, φ, z – координати в циліндричній системі координат, $0 \leq r \leq R_n$, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, $0 \leq z \leq Z_{ш}$, R_n – радіус печі, $Z_{ш}$, $Z_{б}$, $Z_{ф}$ – відповідно висота завалки, висота первинного „болота” та висота футеровки подини; $T_{ф} = f(r, \varphi, z, \tau)$ – температура футеровки, $^{\circ}\text{C}$; $c_{ф} = f(T_{ф})$, $\lambda_{ф} = f(T_{ф})$, $\rho_{ф} = f(T_{ф})$ – відповідно масова теплоємність, коефіцієнт теплопровідності та щільність футеровки. $T_{б} = f(r, \varphi, z, \tau)$ – температура „болота”, $^{\circ}\text{C}$; $c_{б} = f(T_{б})$, $\lambda_{б} = f(T_{б})$, $\rho_{б} = f(T_{б})$ – відповідно масова теплоємність, коефіцієнт теплопровідності і щільність „болота”.

Для врахування фазового переходу від твердого до рідкого стану завалочних матеріалів, зміни їх властивостей і виділення теплоти фазового переходу в інтервалі температур солідус (T_s) – ліквідус (T_L), використовується припущення [2]:

$$c_{\bar{o}} = \begin{cases} c_{\text{ш}}(T), T < T_S; \\ c_{\text{ш}}(T) - \frac{Q}{T_L - T_S}, T_S \leq T \leq T_L; \\ c_{\bar{o}}(T), T \geq T_L. \end{cases} \quad (4)$$

$$\rho_{\bar{o}} = \begin{cases} \rho_{\text{ш}}(T), T < T_S; \\ \frac{\rho_{\text{ш}} + \rho_{\bar{o}}}{2}, T_S \leq T \leq T_L; \\ \rho_{\bar{o}}(T), T \geq T_L. \end{cases} \quad (5)$$

$$\lambda_{\bar{o}} = \begin{cases} \lambda_{\text{ш}}(T), T < T_S; \\ \frac{\lambda_{\text{ш}} + \lambda_{\bar{o}}}{2}, T_S \leq T \leq T_L; \\ \lambda_{\bar{o}}(T), T \geq T_L. \end{cases}, \quad (6)$$

де Q – теплота фазового переходу в інтервалі температур солідусу і ліквідусу, $\text{Дж} / \text{кг}$.

Початковими умовами для рівнянь (1)-(3) в розглядуваному етапі, є поле температур для шихти, „болота” і футеровки стін та подини печі:

$$T_{\text{ш}}(\tau = \tau_1) = T_{\text{ш}1}, T_{\bar{o}}(\tau = \tau_1) = T_{\bar{o}1}, T_{\phi\bar{o}}(\tau = \tau_1) = T_{\phi\bar{o}1}, T_{\phi\partial}(\tau = \tau_1) = T_{\phi\partial1}, \quad (7)$$

де $T_{\text{ш}1}$, $T_{\bar{o}1}$, $T_{\phi\bar{o}1}$, $T_{\phi\partial1}$ – відповідно температура шихти, „болота”, футеровки бокової поверхні стін, футеровки подини, отримані в результаті розв’язання задачі теплопровідності на момент часу завершення етапу запалення дуг.

На осі симетрії печі задана умова симетрії:

$$\left. \frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial T_{\bar{o}}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial T_{\phi}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0. \quad (8)$$

На границі „болото” – шихта ($z = Z_{\bar{o}}(\tau)$) задана гранична умова

IV роду:

$$\begin{cases} \lambda_{\text{ш}} \frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial z} \Big|_{z=Z_{\bar{o}}} = \lambda_{\bar{o}} \frac{\partial T_{\bar{o}}}{\partial z} \Big|_{z=Z_{\bar{o}}} \\ T_{\text{ш}} \Big|_{z=Z_{\bar{o}}} = T_{\bar{o}} \Big|_{z=Z_{\bar{o}}} \end{cases}. \quad (9)$$

На поверхні дотикання шихти з футеровкою стін печі задана умова:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{\text{ш}} \frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial r} \Big|_{r=R_n} = \lambda_{\phi} \frac{\partial T_{\phi}}{\partial r} \Big|_{r=R_n} \\ T_{\text{ш}} \Big|_{r=R_n} = T_{\phi} \Big|_{r=R_n} \end{array} \right., \quad (10)$$

а для границі зіткнення „болота” з футеровкою поду та бокових стін задані умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{\phi} \frac{\partial T_{\phi}}{\partial z} \Big|_{z=Z_{\phi}} = \lambda_{\phi} \frac{\partial T_{\phi}}{\partial z} \Big|_{z=Z_{\phi}} \\ T_{\phi} \Big|_{z=Z_{\phi}} = T_{\phi} \Big|_{z=Z_{\phi}} \end{array} \right. ; \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{\phi} \frac{\partial T_{\phi}}{\partial z} \Big|_{r=R_{\text{ш}}} = \lambda_{\phi} \frac{\partial T_{\phi}}{\partial z} \Big|_{r=R_{\text{ш}}} \\ T_{\phi} \Big|_{r=R_{\text{ш}}} = T_{\phi} \Big|_{r=R_{\text{ш}}} \end{array} \right. .(11)$$

Теплота внутрішньої поверхні футеровки передається теплопровідністю до зовнішньої поверхні (3), яка в свою чергу вступає в конвективно-радіаційний теплообмін з навколишнім середовищем. На границі теплообміну між зовнішньою поверхнею футеровки бокових стін, подини та навколишнім середовищем задаються відповідні умови:

$$-\lambda_{\phi} \frac{\partial T_{\phi}}{\partial r} \Big|_{r=R_n} = \alpha_{\Sigma} (T_{\phi}(r=R_n) - T_c) \quad ; \quad -\lambda_{\phi} \frac{\partial T_{\phi}}{\partial z} \Big|_{z=0} = \alpha_{\Sigma} (T_{\phi}(z=0) - T_c) \quad , (12)$$

де α_{Σ} – сумарний коефіцієнт тепловіддачі від поверхні футеровки стін і подини до навколишнього середовища.

Колодязі, що утворюються на протязі цього періоду, екранують електричні дуги, завдяки чому променеву енергію дуги отримує тільки поверхня шихти безпосередньо під електродами. В зоні плями дуги (на рухливій границі колодязя) (рис.1) на поверхні шихти задається гранична умова радіаційного теплообміну:

$$-\lambda_{\text{ш}} \frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial z} \Big|_{z=Z_{ki}(\tau)} = \varepsilon_{\text{шп1}} \sigma_0 \left((T_{\text{дуги}} + 273)^4 - (T_{\text{ш}}(z=Z_{ki}(\tau)) + 273)^4 \right) \quad , \quad (13)$$

де $i=1,2,3$ – номер колодязя; $Z_{ki}(\tau)$ – висота поверхні i -того колодязя; $\varepsilon_{\text{шп1}}$ – приведена міра чорноти в системі „шихта – дуга”.

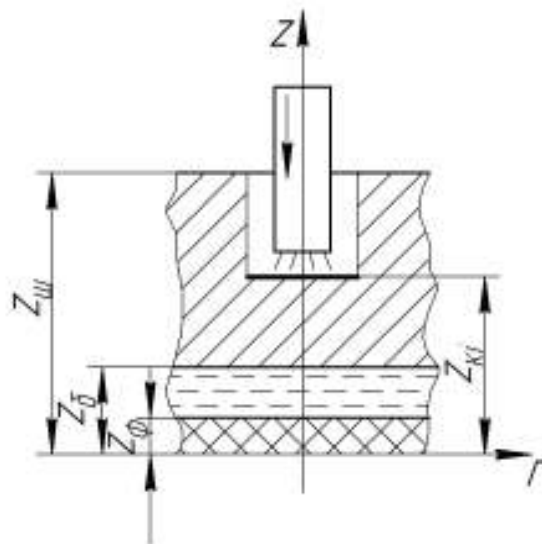


Рисунок 1 – Схема опромінення шихти електричною дугою

В результаті проплавлення колодязів, розплавлений метал стікає вниз під дією сили тяжіння, передаючи при цьому свою ентальпію розташованим нижче шарам шихти. Відбувається конвективний теплообмін між шихтою та стікаючим металом. В області руху електродів, задається наступна гранична умова третього роду для конвективного теплообміну між рідким стікаючим металом та шихтою (рис. 2):

$$\lambda_{ш} \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{(z=F_{ш})} = \alpha_{Vpp} (T_{pm} - T_{ш}) ; \quad (14)$$

$$\lambda_{ш} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{(r=R_{ik})} = \alpha_{Vpp} (T_{pm} - T_{ш}) , \quad (15)$$

де α_{Vpm} – об’ємний коефіцієнт тепловіддачі рідкого металу, T_{pm} – температура рідкого стікаючого металу, R_{ik} – радіус і-того колодязя. Бокова поверхня колодязя приймається нерухливою границею, а величина R_{ik} визначається як подвійний діаметр електродів [3].

Для системи тіл „поверхня електроду – бокова поверхня шихти” (рис.2) задається гранична умова радіаційного теплообміну:

$$-\lambda_{ш} \frac{\partial T_{ш}}{\partial r} \Big|_{r=R_{ki}} = \varepsilon_{np2} 2\sigma_0 \left((T_{el} + 273)^4 - (T_{ш}(r=R_{ki}) + 273)^4 \right) , \quad (16)$$

де ε_{np2} – приведена ступінь чорноти системи „бокова поверхня шихти – електрод”.

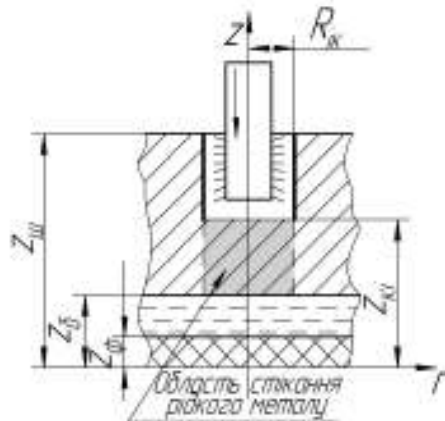


Рисунок 2 – Схема опромінення бокової поверхні колодязів

Верхня поверхня шихти, поверхня склепіння та відкрита поверхня футеровки стін складають на даному етапі замкнену систему сірих тіл, між якими відбувається теплообмін випромінюванням. На верхній поверхні шихти ($z = Z_u(\tau)$) задана умова променевого теплообміну в результаті поглинання променевої енергії, що випромінюється футеровкою склепіння та бокових стін:

$$\lambda_{ш} \frac{\partial T_{ш}}{\partial z} \Big|_{z=Z_u} = \varepsilon_{np3} \sigma_0 \left((T_{ф} + 273)^4 - (T_{ш} + 273)^4 \right), \quad (17)$$

де $\sigma_0 = 5,77 \cdot 10^{-8}, \text{Вт} / \text{м}^2 \text{К}^4$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, ε_{np3} – приведена міра чорноти в системі шихта – футеровка печі, що бере участь у променистому теплообміні.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Для аналізу адекватності отриманих даних розрахунки проводився для змінних мас первинного завантаження і печей різної геометрії. Параметрична ідентифікація створеної моделі здійснювалась урахуванням даних промислових плавок ДСПЗ-М Дніпродзержинського сталеливарного заводу. Тривимірні рівняння теплопровідності з відповідними початковими і граничними умовами замінювалися кінцево-різницевиими співвідношеннями на підставі методу кінцевих різниць [4]. Теплові баланси розрахункових чарунок розраховувались при використанні методу контрольного об'єму з розщепленням теплових потоків по координатам. Загальне відхилення розрахункових даних етапу проплавлення колодязів від даних промислових плавок не перевищує 4%.

Створена математична модель етапу проплавлення колодязів є складовою частиною комплексної математичної моделі теплової роботи дугових печей, створення якої, надасть можливість проведення чисельних експериментів щодо процесу плавлення пористого тіла.

ЛІТЕРАТУРА

1. Никольский Л.Е., Смоляренко В.Д., Кузнецов Л.Н. Тепловая работа дуговых сталеплавильных печей, М.: Металлургия, 1981. – 320с.
2. Расчет оптимальных режимов нагрева жидкого металла в дуговой сталеплавильной печи/ И.И. Игнатов, Л.Б. Рапопорт – Математическое моделирование и расчеты ЭТО. Сборник научных трудов, М: ВНИИЭТО, 1989. – С.3-10.
3. Теплообмен в дуговых сталеплавильных печах: Учеб. пособие / Макаров А.Н., Тверь: ТГТУ, 1998. – 183 с
4. Егоров А.В. Расчет мощности и параметров электроплавильных печей, М: МИСИС, 2000. – 271с.

УДК 622.788

Л.А. Шапран, Л.Х. Иванова, А.Ю. Хитько, А.Д. Копылов

ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ РОЛИКОВ ЗОНЫ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МНЛЗ

Аннотация. В данной работе представлены и проанализированы результаты серии экспериментов, посвященные сравнительному исследованию прогибов опытных литых биметаллических и серийных кованных роликов зоны вторичного охлаждения машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) в разных периодах разливки стали.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В отечественной и зарубежной практике применяются ролики: стальные кованные, составные литые, однослойные и биметаллические, а также чугунные. В то же время отсутствуют данные об особенностях эксплуатационных свойств стальных биметаллических роликов. Работа выполнена в соответствии с государственной научно-технической программой 04.01 «Ресурсосберегающие экологически чистые процессы и технологии в металлургии и литейном производстве» (приказ МН № 102 от 23.04.97 г., задание 04.01/ 0137).

Целью исследований являлось определение эксплуатационных свойств, в частности прогибов, стальных биметаллических центробежнолитых роликов и сравнение с серийными коваными.

Методика исследований. Запись прогибов в течение более 300 минут позволяет судить об их величине в установившемся и переходном режимах разливки стали на МНЛЗ, связанных с заменой погружаемого стакана. При эксплуатации роликов МНЛЗ время их выхода на установившийся температурный режим составляет 90...100 мин [1].

Перед эксплуатацией и во время ее проводили измерения прогибов опытных роликов диаметром 300 мм, работающих в условиях больших механических и температурных нагрузок.

Исследуемые кованный и биметаллические ролики устанавливали неприводными на малом радиусе технологической

линии пятого и шестого механизмов зоны вторичного охлаждения машин непрерывного литья заготовок [2].

Измерение прогиба литого ролика до эксплуатации производили под воздействием только механической нагрузки. Установлено, что величина прогиба ролика от действия груза массой 10 т составила 0,5 мм, что на 5...10 % больше прогиба кованных роликов этого же диаметра.

Уровень технологии непрерывной разливки позволяет производить замену ковшей практически без снижения скорости разливки. Серийность плавков без замены ковшей достигает 6...8. Поэтому наибольшее влияние на ритмичность и выдержку скорости разливки оказывает замена погружаемых стаканов. При замене стаканов скорость разливки снижается с 0,8 до 0,2 м/мин, что вызывает увеличение температурного перепада по сечению ролика. При этом увеличивается прогиб роликов и раствор между ними, определяющий толщину слитка по технологической линии.

Для прогнозирования изменения величины раствора между роликами при замене кованных на биметаллические, а также оценки их конструкционной прочности экспериментально определяли изменение величины прогибов сравниваемых роликов следующим образом.

До эксплуатации величину прогиба роликов оценивали с помощью специального устройства с датчиком часового типа с точностью $\pm 0,01$ мм при нагрузке контрольным грузом массой 10 т.

В процессе эксплуатации определяли максимальную величину прогиба с помощью специального устройства (рис. 1) со штоком из материала с малым коэффициентом термического расширения с точностью $\pm 0,01$ мм. Устройство было вмонтировано в водоохлаждаемую раму кассеты для роликов $\varnothing 300$ мм верхнего полотна пятого механизма зоны вторичного охлаждения.

На раме роликовой секции установлены стационарные кронштейны 1, на которых закреплено устройство, состоящее из штока 2 с малым роликом 3, пружины 4 и корпуса 5. Предварительная настройка устройства производилась с помощью прокладок 6, после чего устройство закрепляли на кронштейне болтовым соединением 7. При измерениях полый шток 2 охлаждается сжатым воздухом. Перемещение штока передается с

помощью струны 8 через блок 9 на реохордный датчик перемещения 11. Постоянное натяжение струны обеспечивается пружиной 10. Преобразованный реохордным датчиком сигнал поступает на панель 12, собранную по мостовой схеме и далее на светолучевой осциллограф 13.

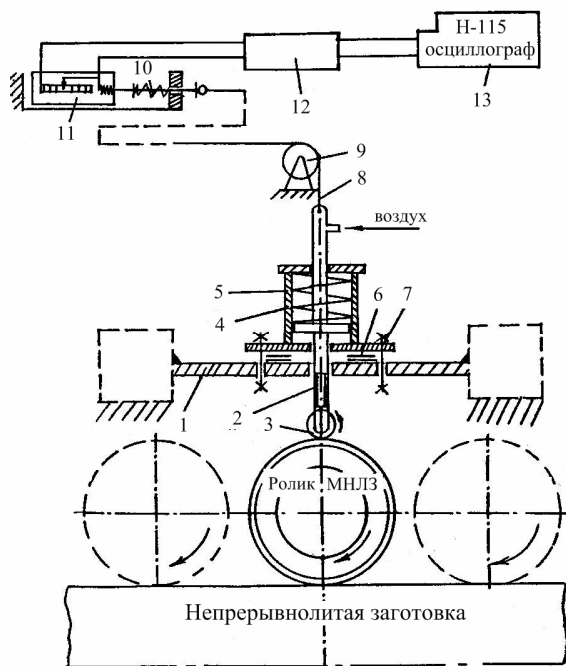


Рисунок 1 - Схема устройства для определения прогибов:

- 1 – кронштейн;
- 2 – шток;
- 3 – ролик;
- 4 – пружина;
- 5 – корпус;
- 6 – прокладки;
- 7 – болтовое соединение; 8 – струна;
- 9 – блок;
- 10 – пружина;
- 11 – датчик перемещения;
- 12 – электропанель;
- 13 – осциллограф

Разработанная измерительная схема позволяет вывести реохордный датчик перемещения из зоны воздействия высоких температур, т.е. за пределы зоны вторичного охлаждения. Тарировку измерительной схемы производили непосредственно в МНЛЗ. Для измерения температуры поверхности роликов были изготовлены контактные термопары типа ХЖ с переносным милливольтметром и протарированы в интервале температур 20...500⁰С. Для измерения прогибов роликов применяли расходные датчики типа ЛХ707 со специальными передаточными устройствами, позволяющими вынести датчик из зоны высоких температур. Тарировку датчиков перемещения проводили непосредственно на МНЛЗ с помощью мерных пластин толщиной 0,1 мм, вводимых между поверхностью ролика и штоком датчика. При этом учитывали температурные удлинения механических связей.

Температурное поле поверхности бочки ролика исследовали при разливке на МНЛЗ крупногабаритных заготовок сечением

300x1850 мм. Контактные термопары подводились с тыльной стороны ролика. Это позволило провести измерения температуры поверхности роликов в установившемся режиме. Интервал температур, установленный при измерениях, составил 120...140⁰С. Используя эти данные и результаты проведенных ранее исследований температурных полей серийных роликов, методом аппроксимации были получены максимальные значения температуры в зоне контакта ролика со слитком – 470⁰С. Температурное удлинение передающих элементов учитывали при обработке данных по конечному расхождению величин сигнала после выхода слитка и проверялось расчетом, для чего определяли температуру элементов конструкции контактной термопарой. Величину прогибов измеряли с помощью реохордных датчиков типа ЛХ-705 с точностью $\pm 0,01$ мм. Показания датчиков перемещения регистрировали светолучевым осциллографом Н-115. Одновременно на эту же осциллограмму записывали скорость разливки, изменяющуюся при смене ковшей, замене разливочного стакана, в начале и конце разливки и др. Запись производили непрерывно.

Одновременно производили измерение прогибов двух роликов: экспериментального биметаллического 2 и серийного кованого 1 ролика, установленных средними в верхних кассетах соответственно шестого и пятого механизмов пятого ручья МНЛЗ № 3.

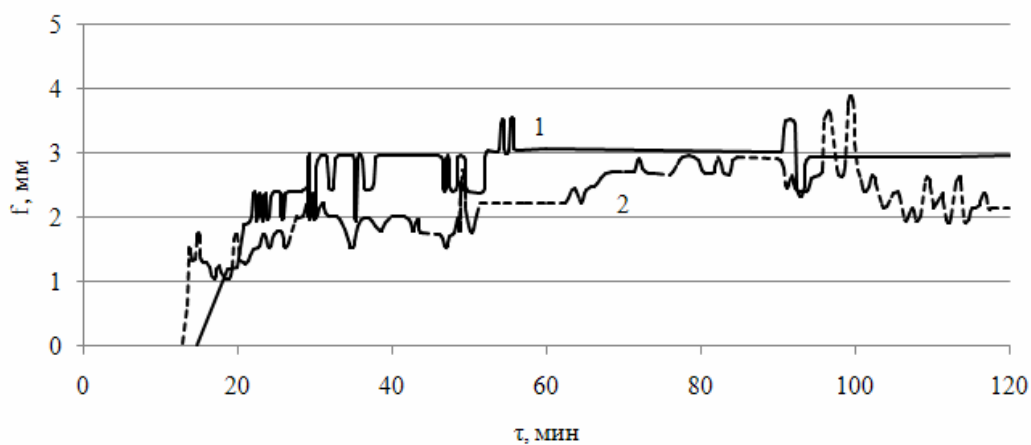
Результаты измерений регистрировались на одной осциллограмме, что позволило сравнить изменение прогибов в процессе эксплуатации при всех скоростных режимах разливки. Экспериментальные данные использовались при расчете соотношения толщин слоев биметалла и напряжений в них, а также для определения необходимой жесткости роликов.

Экспериментальная часть. Прогиб роликов в процессе эксплуатации оценивали по максимальному отклонению контрольного щупа с фиксатором. Щуп контактировал с роликом перпендикулярно широкой грани сляба и вводился в контакт через трубу, сваренную в продольную балку роликовой секции. После прохождения серии плавок отклонение щупа измерялось с помощью штангенциркуля. Измерения показали, что максимальный прогиб роликов при смене промежуточного ковша и скорости разливки 0,2 м/мин составил для опытных роликов исполнений 17Х12МФЛ–20Л и

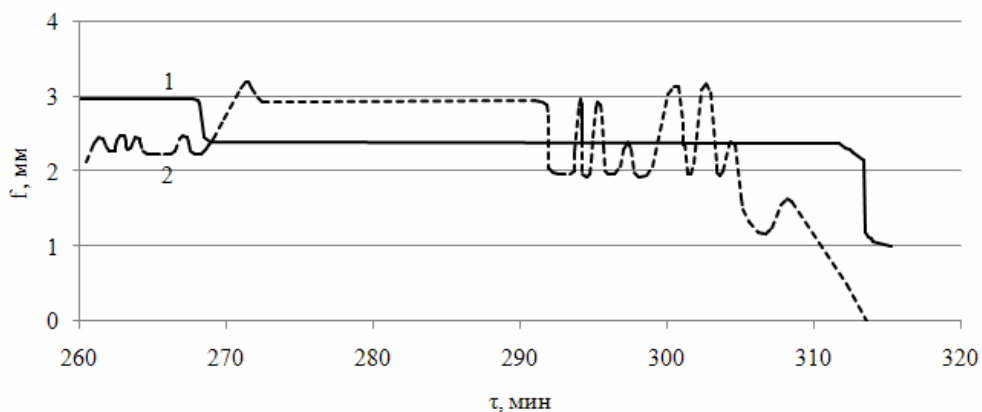
20Х25Н19С2Л–20Л 2,5 и 3,5 мм, соответственно. Определенное значение прогиба одного из опытных роликов превышало прогибы кованных роликов, которые составляют 2,5...2,8 мм.

На рис. 2 приведены графические изображения прогибов биметаллического (1) и кованого (2) роликов. Кривые характеризуют изменение прогибов от начала разливки стали до выхода слитка. При этом была произведена замена трех погружаемых стаканов.

Опытный ролик к тридцатой минуте от начала разливки вышел на установившийся режим и далее величина его прогиба была постоянной и равной 3 мм, с изменениями до 0,5 мм при снижении скорости во время замены погружаемых стаканов (см. рис. 2).



А



Б

Рисунок 2 - Изменение прогибов биметаллического (1) и кованого (2) роликов в начальном и установившемся периодах (А), а также в заключительном периоде (Б)

Колебательное изменение прогибов при этом практически отсутствовало. Для сравнения кованный ролик получал приращение прогиба в течение 80 мин от начала заливки. Изменение скорости вызывало в нем колебательное изменение прогибов в течение 10...15 мин, с увеличением максимума амплитуды до 4 мм (см. рис. 2).

Прогибы измеряли с целью установления истинного значения изменения межроликового расстояния в МНЛЗ при использовании биметаллических роликов и возможного влияния состояния роликовой проводки на качество слитков. Установлено, что прогибы биметаллических роликов исполнения 17Х12МФЛ – 22ХМФЛ при установившемся режиме работы МНЛЗ (скорость разливки 0,6...0,8 м/мин) составляли 2...2,8 мм. При переходных режимах, например, при замене разливочного стакана, когда скорость разливки уменьшалась до 0,2 м/мин, величина прогибов биметаллических роликов возрастала до 3,5...4 мм.

Полученные значения величины прогибов биметаллических роликов были на 15...20 % ниже, чем у серийных кованных роликов.

В процессе эксплуатации проводили измерение прогибов и температуры поверхности бочек роликов. Установлено, что максимальный прогиб биметаллического ролика составляет 2,3 мм при скорости разливки 0,2 м/мин во время замены разливочного стаканчика. Измерения температуры поверхности роликов показали, что они работали в нормальном температурном режиме, не перегреваясь. Т. е. большая по сравнению с коваными площадь внутренней теплоотводящей поверхности в биметаллических роликах обеспечивала эффективный отвод тепла.

Выводы. Приведенные результаты исследования прогибов показывают, что применение биметаллических роликов окажет положительное влияние на стабильность межосевого расстояния, как в течение всей кампании, так и при изменении скоростных режимов во время разливки стали отдельных серий

Проведенные исследования термонагруженного состояния биметаллических роликов позволили установить, что при использовании роликов новой конструкции происходило уменьшение прогибов и стабилизировалось межроликовое расстояние по технологической длине МНЛЗ, что положительно влияло на качество разливаемых стальных заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проведение испытаний с целью выявления причин отказов и разработка варианта подшипникового узла роликов МНЛЗ, обеспечивающего работоспособность в условиях повышенных нагрузок и температур: Отчет о НИР / Днепроп. металлургич. ин-т (ДМетИ). – Руководитель Г. Ф. Кравченко. – 082401; № ГР 80027756. – Д., 1980. – 60 с.
2. Исследование, разработка, изготовление и испытание экспериментальных биметаллических роликов из центробежнолитых заготовок с упрочненным внутренним слоем: Отчет о НИР / Днепроп. металлургич. ин-т (ДМетИ) – Руководитель И. В. Адамов. – К 522080007; № ГР 01870063718. – Д., 1988. – 76 с.

УДК 681.5.01

М.А. Маначина, О.Н. Кукушкин, А.П. Егоров
**ДИАГРАММА ВЫШНЕГРАДСКОГО ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С
ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Аннотация. Рассмотрена диаграмма Вышнеградского и выполнены исследования влияния запаздывания на распределение корней характеристического уравнения третьего порядка и влияние этого распределения на характер переходной функции.

Ключевые слова: система управления, запаздывание, переходной процесс, диаграмма Вышнеградского, характеристическое уравнение.

Введение

Большое количество металлургических объектов – агломерационные машины, ленточные весоизмерители, грохоты, доменные, сталеплавильные, методические, непрерывные проходные печи, все непрерывные прокатные станы, трубопроводные транспортные системы, а также любая система передачи сигналов, содержащих электрическую или акустическую линию связи и т.д. – описываются дифференциальными уравнениями с запаздывающим элементом.

Постановка задачи исследования

Наличие в объекте запаздывания существенным образом искажает характер протекания переходных процессов. Отсюда возникает задача компенсации запаздывания путем соответствующего выбора алгоритма управления.

В реальности трудно получить достаточно точную математическую модель, учитывающую все особенности реального объекта, но зачастую можно и нужно пользоваться упрощенными моделями. Так, например, системы с распределенными параметрами в некоторых случаях можно идентифицировать как системы с запаздыванием.

Идеи аналитических методов расчета параметров регулятора имеют некоторые недостатки. Первый – при расчете настроек регулятора аналитическими методами возмущающий сигнал $w(t)$ принимаем равным нулю, в реальности же на объект действуют

случайные возмущения. Вторая недостаток – невозможность учесть переменное запаздывание.

В конечном итоге проверка результатов, полученных аналитически, требует проведения компьютерного моделирования. Следовательно, допустимо пытаться «обходить» аналитические расчеты и получать результат путем компьютерного моделирования. Для решения вышеизложенной задачи наиболее подходит пакет проектирования нелинейных систем Nonlinear Control Design системы Matlab, который позволяет оптимизировать нелинейные системы по различным критериям и корректировать их параметры с целью получения заданных характеристик систем. Особую значимость имеет то обстоятельство, что в процессе настройки могут учитываться неопределенности параметрического типа, что позволяет синтезировать управление, обеспечивающее выполнение требований, предъявляемых к замкнутой системе при любых значениях неопределенных параметров из указанных диапазонов.

Оценку запаса устойчивости можно произвести по виду кривой переходного процесса в системе автоматического управления при некотором типовом входном воздействии. Поскольку вид корней характеристического уравнения определяет характер переходных процессов, можно сформулировать требования по запасу устойчивости и быстродействию системы, не рассматривая самих переходных процессов, а накладывая определенные условия на корни характеристического уравнения.

Исходя из выше изложенных соображений, второй актуальной задачей исследования является влияния запаздывания на характер переходных процессов в системах с запаздыванием достаточно общего вида. Для этого использовали диаграмму Вышнеградского, которая позволяет определять вид переходного процесса зная ее характеристическое уравнение, без моделирования полученной системы.

Анализ опубликованных научных исследований

Аналитические методы расчета и синтеза систем с запаздыванием описаны в таких трудах, как [1-7]. Решение данной задачи машинным методом возможно с применением Nonlinear Control Design Blockset, который позволяет оптимизировать нелинейные системы по различным критериям, корректировать их

параметры с целью получения заданных характеристик, в процессе настройки учитывать неопределенности параметрического типа математической модели, что позволяет синтезировать робастные законы управления[8-11].

Распределение корней характеристического уравнения третьего порядка и влияние этого распределения на характер переходной функции, рассмотрены авторами [12,13]. Однако как запаздывание, часто присутствующее в металлургических объектах, влияет на диаграмму Вышнеградского, не приведено.

Диаграмма Вышнеградского для объектов с запаздыванием

В первую очередь отметим, что вследствие малого влияния на переходную функцию системы полюсов, расположенных далеко от мнимой оси, о поведении системы в большинстве случаев можно судить по расположению лишь трех ближайших к мнимой оси корней характеристического полинома, которые называются доминирующими. В большинстве случаев переходной процесс можно считать закончившимся тогда, когда затухнут члены, определяемые ближайшими к мнимой оси корнями.

Определим, как будет выглядеть диаграмма Вышнеградского (рис. 1) [12,13] для объекта третьего порядка с запаздываниями от 0.5 до 3 с. Основываться будем на том, что определенному распределению корней характеристического уравнения соответствует свой переходной процесс.

1. Любое характеристическое уравнение третьего порядка должно быть приведено к нормированному виду. Для простоты вычислений предположим, что среднегеометрический корень $\Omega_0=1$. Тогда параметры Вышнеградского А и В будут равны членам, стоящим при p^2 и p соответственно.

Начнем с того, что для классической диаграммы Вышнеградского найдем нужные нам характерные точки. Так, например, точка (3,3), в которой все три корня равны. Данная точка также является точкой бифуркации, поскольку в ней переходные процессы принципиально различны при небольших изменениях параметров системы. Характерными для нас точкам также будут являться точки, лежащие на граничных кривых, например, такие, которым соответствует расположение, при котором все корни лежат на одной оси, комплексные корни равны и лежат ближе к мнимой

оси, чем вещественный или все три корня лежат на одинаковом расстоянии от мнимой оси.

Диаграмма Вышнеградского

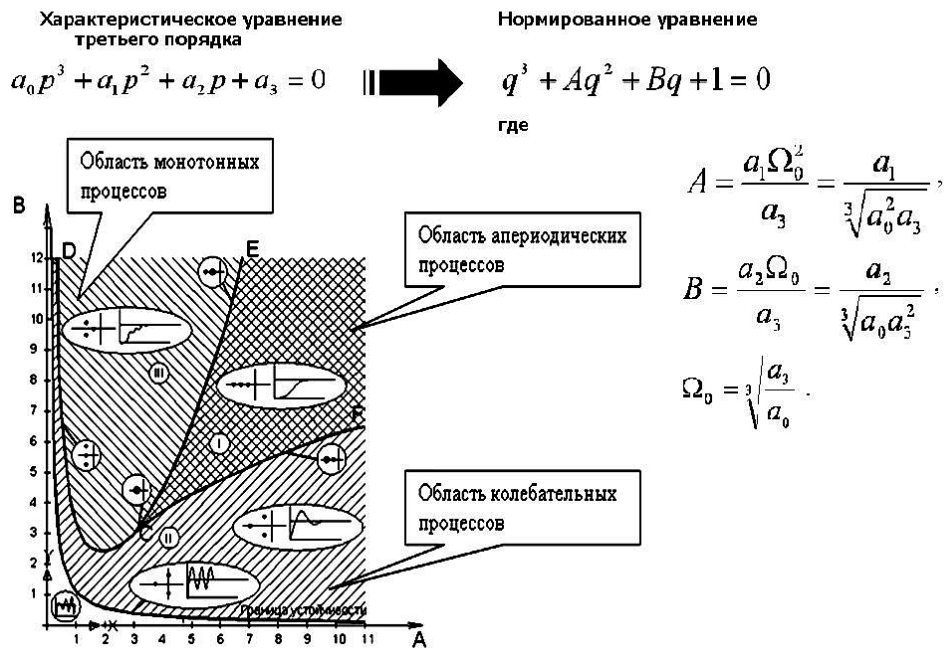


Рисунок 1 – Диаграмма Вышнеградского для линейных систем без запаздывания

Как не ошибиться в подборе данных точек? В состав пакета прикладных программ Control System Toolbox входит Simulink LTI-Viewer, который среди прочих своих возможностей позволяет найти нули и полюса системы. Продемонстрируем это на примере точки (3,3).

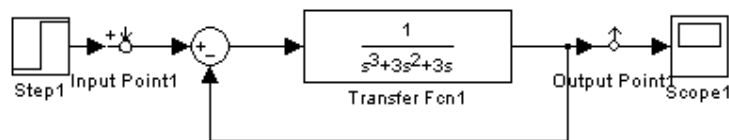


Рисунок 2 – Исследуемая модель с установленными блоками Input Point и Output Point

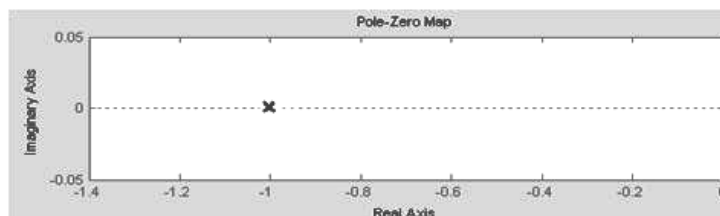


Рисунок 3 – Окно Simulink LTI-Viewer

Следовательно, в точке $A=3$, $B=3$ все три корня равны.

2. Для каждой точки из классической диаграммы Вышнеградского найдем на плоскости параметров A и B такую точку для объекта третьего порядка с разными запаздываниями, в которой переходные процессы будут совпадать.

Для этого соберем схему, представленную на рисунке 4.

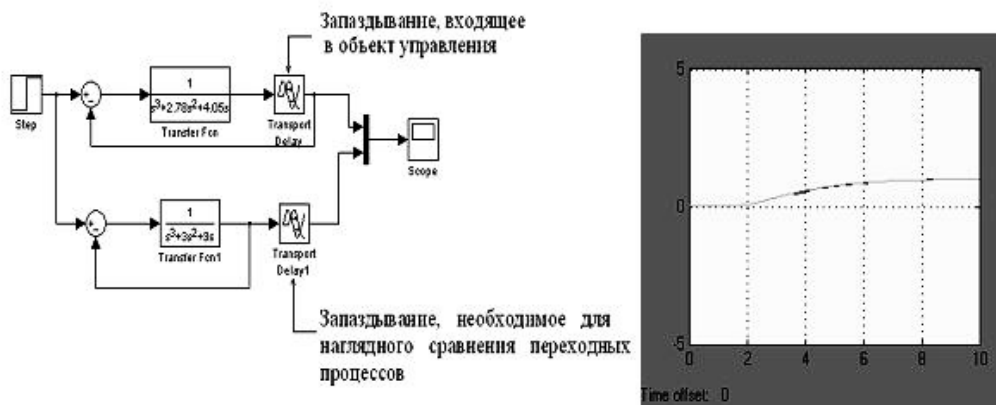


Рисунок 4 – Окно Matlab Simulink

Итак, для объекта с запаздыванием 1 с в точке $(2,78;4,06)$ все три корня характеристического уравнения будут равны.

3. Такие же действия повторяем со всеми характерными точками.

Область устойчивости определить нетрудно, найдя точки, которым будут соответствовать автоколебания.

На рис.5,6,7,8 изображена диаграмма Вышнеградского для объекта третьего порядка с запаздыванием 0.5с, 1с, 2с, 3с соответственно.

На рис.9 совмещены все полученные графики на единой плоскости A и B .

Итак, для объектов третьего порядка с незначительным запаздыванием 0.5с, диаграмма Вышнеградского изменяется незначительно. Диаграмма немного сдвигается вверх, что свидетельствует о некотором ухудшении динамических свойств. Рассмотрим теперь рис.5, где изображена диаграмма для объекта с запаздыванием 1с. Граница устойчивости вырождается из равнобокой гиперболы практически в прямую. Увеличивается зона, где система неустойчива. Для объекта третьего порядка с запаздыванием 1с и выше зона, где быстрее затухает вещественный корень и переходной процесс определяется парой комплексных корней – зона

колебательных процессов – значительно увеличивается. Данная диаграмма также характеризуется уменьшением зоны апериодических процессов.

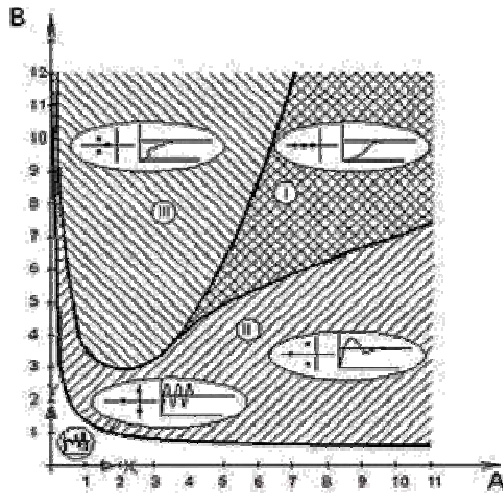


Рисунок 5 – Время запаздывания $\tau_0=0.5с$

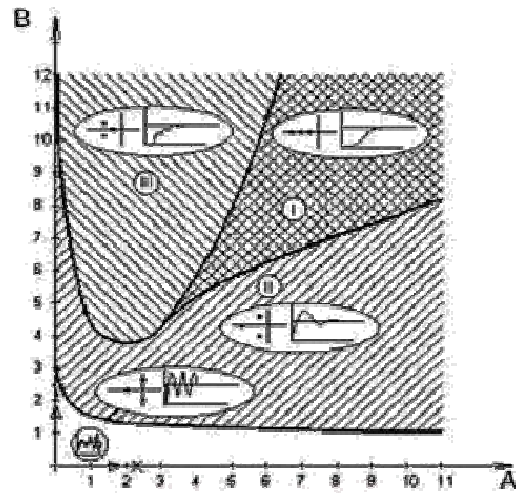


Рисунок 6 – Время запаздывания $\tau_0=1с$

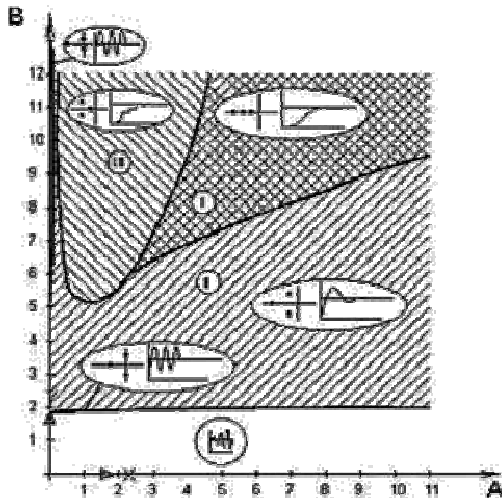


Рисунок 7 – Время запаздывания $\tau_0=2с$

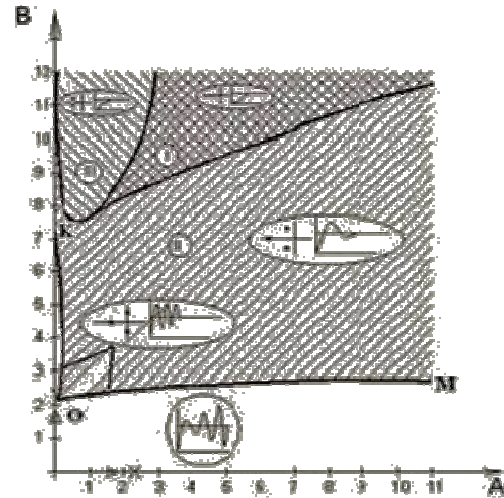


Рисунок 8 – Время запаздывания $\tau_0=3с$

Запаздывание в 2 секунды еще больше увеличивает зону, где система неустойчива. Происходит «скачок». Область под кривой КОМ(рис. 8) характеризует зону неустойчивости. Увеличивается также зона колебательных процессов. На данной диаграмме рассмотрим зоны апериодических и монотонных процессов соответственно. Абсолютная величина вещественной части корня, расположенного ближе всех остальных к мнимой оси называется степенью устойчивости η . Понятие степени устойчивости в качественном отношении связано с понятием быстродействия или

длительности переходного процесса. На рис. 8 видно, области, где система имеет наименьшее время регулирования, уменьшаются.

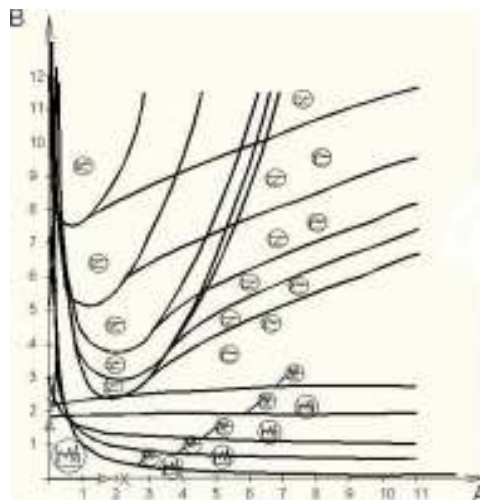


Рисунок 9 – Совмещенная диаграмма Вышнеградского

Но наиболее отчетливо увеличение зоны неустойчивости, увеличение колебательной зоны и уменьшение монотонной и апериодической зон проявляется на объекте третьего порядка с запаздыванием 3 секунды. В данном случае динамика системы уже существенно ухудшается.

Выводы

Выполнено исследование влияния запаздывания на характер переходных процессов в системах с запаздыванием достаточно общего вида. Для этого использовали диаграмму Вышнеградского, которая позволяет определять вид переходного процесса зная ее характеристическое уравнение, а не моделируя полученную систему.

Машинными экспериментами мы установили, что наличие запаздывания приводит к тому, что диаграмма Вышнеградского «сдвигается вверх». С каждым шагом увеличения запаздывания, увеличивается зона неустойчивости и зона колебательных процессов, а также уменьшается зона монотонных и апериодических процессов, что в общем свидетельствует об ухудшении динамических свойств системы.

По-видимому, при больших величинах времени запаздывания (свыше 3 сек) будет эффективно работать «упредитель Смита»[2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Клиначёв Н. В. Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. - Offline версия 1.7. - Челябинск, 2002.
2. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. Пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.:Наука,1989. - 304с.
3. Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами. Маковский В.А. Изд-во «Металлургия», 1971. - 384с.
4. Идентификация и управление процессами в черной металлургии. Салыга В.И., Карабутов Н.Н.М.:Металлургия,1986. - 192с.
5. Каннингхэм В. Введение в теорию нелинейных систем. Перевод с английского Е.Б.Пастернака. М. - Л., Госэнергоиздат, 1962. - 456с.
6. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе ЭВМ: Учеб.пособие. - К.:Высшая шк., 1990. - 334с.
7. Литюга А. М., Клиначёв Н. В., Мазуров В. М. Теоретические основы построения эффективных АСУ ТП: Конспект лекций. - Offline версия 1.0. - Тула, Челябинск, 2002.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. М.: СОЛОН-Пресс. - 2003. - 576с.
9. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. - СПб: Питер, 2002. - 528с.
10. Официальный сайт разработчиков MATLAB www.mathworks.com.
11. Консультационный центр MATLAB компании SoftLine <http://matlab.exponenta.ru/>.
12. А.А.Красовский, Г.С. Поспелов. Основы автоматики и технической кибернетики. М. - Л. Госэнергоиздат, 1962. - 600с.
13. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб, Изд-во «Профессия», 2003. - 752с.

УДК 621.744.3:533

В.Ю. Селиверстов

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
РАСПЛАВ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ**

Аннотация. Приведено описание расчетных схем и информационных технологий для реализации методики определения основных технологических параметров осуществления процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.

Ключевые слова. Газодинамическое воздействие, методика, расчет, затвердевание, информационные технологии, анализ серных отпечатков.

Введение. Структура и свойства литого металла во многом определяются режимом кристаллизации, который можно регулировать в относительно широких пределах. О возможностях применения давления при кристаллизации расплавов для улучшения качества литых заготовок опубликовано значительное количество данных. Отмечается перспективность использования повышенных давлений во время затвердевания для обеспечения высоких и стабильных свойств отливок.

Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи. Реализуемый способ литья [1, 2] предполагает в качестве необходимого условия осуществления процесса наличие на поверхности рабочей полости литейной формы слоя затвердевшего металла. Толщина этого слоя должна обеспечивать по своим прочностным характеристикам герметичность системы отливка-устройство для ввода газа, находящейся под давлением, вплоть до полного затвердевания отливки. Для осуществления процесса и достижения максимальной степени эффективности газодинамического воздействия, необходимо определить время выдержки расплава в форме до момента подачи газа, соответствующее формированию корки необходимой толщины и, соответственно, прочности [3]. При этом могут применяться экспериментальные методики, такие как выливание жидкого остатка или термоэлектрические исследования [4, 5]. Несомненный интерес представляет использование систем

© Селиверстов В.Ю., 2009

компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) и инженерных методов расчета температурного поля отливки. Кроме того, существенными параметрами процесса являются величина давления, а также характер и продолжительность воздействия. Поэтому актуальной задачей является комплексное определение всех указанных параметров для реализации соответствующего технологического процесса.

Целью работы является разработка методики определения основных технологических параметров процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.

Результаты исследований. На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая методику, применявшуюся для расчета технологических параметров разрабатываемого процесса в конкретных условиях производства на примере получения стальных отливок. Приведены основные расчетные схемы и применявшиеся информационные технологии, в том числе оригинальные.

Проведенный сравнительный анализ результатов расчета затвердевания отливок различной конфигурации инженерным методом и методом конечных элементов показал, что рассчитанный максимальный модуль отклонения, характеризующий расхождение результатов для распределений температур в отливке и форме находится в диапазоне 0,5 – 2,6 % по времени полного затвердевания и 0,1 – 1,9 % при затвердевании различных долей приведенной толщины отливки. Поэтому, при необходимости диверсификации способов расчета термовременных параметров герметизации отливки в литейной форме для осуществления газодинамического воздействия, возможно использование инженерного метода расчета Стефана-Шварца, а также приближенного решения с использованием уравнения «квадратного корня» и формулы Хворинова.

Для получения численного решения задачи расчета процесса затвердевания использовали метод конечных элементов в программной реализации системой компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон». При моделировании методами конечных элементов (рис. 2) выделяются следующие основные этапы: препроцессинг, расчет и постпроцессинг. Препроцессинг включает в себя построение твердотельной модели объекта и построение конечноэлементной модели объекта. Расчет

созданной конечноэлементной модели осуществляется одним из КЭ-алгоритмов, реализованных в программе, в зависимости от типа решаемой задачи. На этапе постпроцессинга происходит обработка результатов расчета и их интерпретация в терминах предметной области.

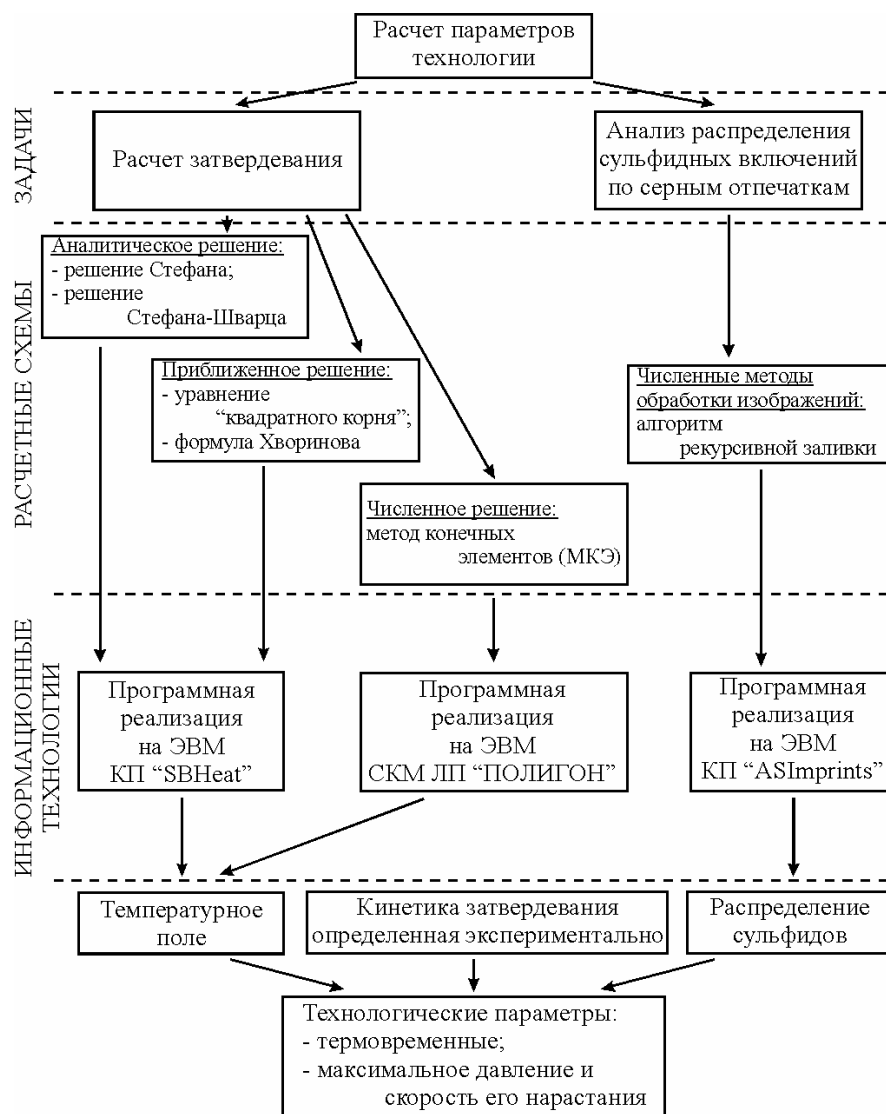


Рисунок 1 - Схема, иллюстрирующая методику расчета основных технологических параметров газодинамического воздействия



Рисунок 2 - Этапы процесса моделирования с применением СКМ ЛП «Полигон»

СКМ ЛП «Полигон» по классу является «тяжелой» системой, предназначенной для решения задач проектирования литейной технологии для любых способов литья при неограниченной сложности геометрии отливки с учетом максимального количества действующих факторов. В СКМ ЛП «Полигон» численными методами решаются задачи моделирования гидродинамических, тепловых и усадочно-фильтрационных процессов. К достоинствам пакета, помимо применения метода конечных элементов, следует отнести сложные и адекватные физические модели тепловых процессов и возможность учета сложных граничных условий, учет возможности перемещения объектов, а также возможность решения полномасштабной задачи образования усадочных дефектов. В СКМ ЛП «Полигон» проводится совмещенный расчет образования усадочных дефектов по двум совершенно различным механизмам – «микро» и «макро», с расчетом фильтрационного течения, расчетом полей давления в отливке, с учетом сложного динамического характера изменения структурированности сплава в интервале затвердевания.

Программный модуль (ПМ) SBHeat – «Инженерный расчет температурного поля полугораниченной отливки» разработан для расчета распределения температуры в отливке и форме на основании аналитического решения Стефана-Шварца задачи о затвердевании отливки в полубесконечной литейной форме [6]. Результат работы ПМ SBHeat представляет собой распределение температуры в отливке и форме в моменты времени, соответствующие затвердеванию 0,1, 0,5 и 0,95 долей приведенной толщины отливки, что дает возможность определить термовременные параметры герметизации отливки.

При осуществлении газодинамического воздействия на расплав на протяжении всего процесса затвердения необходимо поддерживать максимально возможный уровень газового давления, величина которого, в свою очередь, будет обуславливаться прочностными характеристиками образующегося затвердевшего слоя металла. По мере увеличения затвердевшего слоя его прочность будет расти, что дает возможность повышать давление. Поэтому определение режимов осуществления газодинамического воздействия основано на соответствии создаваемого газового давления кинетике роста затвердевшего слоя металла. Ее можно определить экспериментальным путем (термоэлектрическим методом, выливанием жидкого остатка), или проведением соответствующих расчетов с использованием систем компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП).

Оригинальный программный комплекс «ASImprints – Анализ серных отпечатков» (ПК ASImprints) разработан для проведения количественного анализа серных отпечатков и позволяет обрабатывать монохромные изображения как целых серных отпечатков, так и их фрагментов [7]. Это дает возможность оценить эффективность и скорректировать режим газодинамического воздействия.

ПК ASImprints анализирует изображения серных отпечатков с использованием алгоритма рекурсивной заливки, определяет количественные характеристики бинарного изображения:

- размер сульфидных включений (СВ) и их количество, при этом размер включений приводится в пикселях и квадратных миллиметрах;

– количество и площадь СВ, принадлежащих размерным интервалам: мелкого, среднего, крупного включения и дефекта.

Поскольку ПК ASIprints обрабатывает только бинарные изображения, предусмотрена возможность перевода полутонового изображения серного отпечатка в бинарный вид, при этом производится расчет концентрации СВ.

Для проведения количественного анализа изображения макроструктуры используется алгоритм рекурсивной заливки гранично-определенной 4-х связной области [7, 8]. Модификация данного алгоритма путем введения счетчика количества залитых пикселей, входящих в гранично-определенную область, позволяет определить площадь области пониженной яркости при заданном разрешении изображения. На рисунке 3 приведена структурная диаграмма ПК ASIprints, состоящего из трех модулей.



Рисунок 3 - Структурная диаграмма ПК ASIprints

Модуль «Бинаризация» ПК ASIprints предназначен для преобразования полутонового изображения в монохромное по заданному порогу, при этом, рассчитывается доля площади сульфидных включений во фрагменте.

Модуль «Анализ» ПК ASIprints предназначен для определения площадей и количества включений на монохромном изображении серного отпечатка или его фрагмента с использованием алгоритма рекурсивной заливки гранично-определенной 4-х связной области.

Результаты анализа изображения приводятся в окне ПК ASIprints в следующем формате:

- размер включения в пикселях,
- размер включения в мм²,
- количество включений соответствующего размера.

Результаты анализа изображения возможно сохранить в текстовом файле с использованием стандартного диалогового окна Windows для сохранения текстовых файлов.

Модуль «Калибровка» ПК ASImprints предназначен для определения доли площадей и количества включений четырех размерных диапазонов. Модуль предоставляет возможность пользователю в интерактивном режиме определить площадь включения и задать в соответствующем диалоговом окне размерные диапазоны включений: «мелкое», «среднее», «крупное», «дефект». После чего производится обработка исходного изображения алгоритмом рекурсивной заливки гранично-определенной 4-х связной области, вычисление долей площади и количества, соответствующих различным диапазонам размеров, а также визуализация результата, который сохраняется в файле с использованием стандартного диалогового окна Windows.

Выводы

1. Разработана методика определения основных технологических параметров процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме и, в том числе, термовременных параметров герметизации системы отливка-устройство для ввода газа.

2. Установлены необходимые к использованию расчетные схемы. При необходимости диверсификации способов расчета термовременных параметров герметизации отливки в литейной форме возможно использование инженерного метода расчета (Стефана-Шварца), так и численного решения в программной реализации системой компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП).

3. Определение режимов осуществления газодинамического воздействия основано на соответствии создаваемого газового давления кинетике роста слоя затвердевшего металла. При этом возможно использование экспериментальных данных, полученных термоэлектрическим методом или выливанием жидкого остатка, а также проведением соответствующих расчетов с использованием СКМ ЛП.

4. Для оценки эффективности и коррекции режима газодинамического воздействия при литье стальных отливок возможно использование результатов количественного анализа

серных отпечатков с помощью оригинального программного комплекса «ASImprints – Анализ серных отпечатков» (ПК ASImprints), позволяющего обрабатывать монохромные изображения как целых серных отпечатков, так и их фрагментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28859 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.
2. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Спосіб отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.
3. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
4. Селиверстов В.Ю., Хрычиков В.Е., Доценко Ю.В. Экспериментальное термографическое исследование затвердевания отливки из стали 35Л в кокиле // Теория и практика металлургии. – 2006. – №6. – С. 29-32.
5. Селиверстов В.Ю., Хрычиков В.Е., Доценко Ю.В. Температурное поле процесса затвердевания отливки из стали Х12Ф1 в кокиле // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 2 – 3. – С. 83 – 86.
6. Комп'ютерна програма «SBHeat-Інженерний розрахунок температурного поля напівобмеженого виливка»; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 22135 / Михайловська Т.В., Селівьорстов В.Ю.; дата реєстрації 21.09.2007.
7. Комп'ютерна програма «ASImprints – Аналіз сірчаних відбитків» Селівьорстов В.Ю., Михайловська Т.В. // Свідоцтво на твір № 28879 від 25.05.2009 р.
8. Михайловская Т.В., Селиверстов В.Ю. Компьютерная обработка серных отпечатков темплетов отливок на основе алгоритма рекурсивной заливки // Нові технології. – 2009. - №2. – С. 26 – 30.

УДК 624.04

Д.Г. Зеленцов, А.А. Радуль

УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛИ С ДВУМЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ ОДНОКОНТУРНЫМИ СВЯЗЯМИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ВЕСОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОРРОДИРУЮЩИХ БАЛОК

Аннотация. В статье рассмотрена двухконтурная математическая модель решения задачи весовой оптимизации корродирующих балочных конструкций и модель с двумя последовательными одноконтурными связями, показаны преимущества последней. Получено аналитическое решение задачи весовой оптимизации балки прямоугольного сечения для второй модели, что позволило точно определить значения весовых коэффициентов для обобщенной целевой функции. Приводятся результаты численного эксперимента, подтверждающие возможности использования модели с двумя последовательными одноконтурными связями при правильном выборе весовых коэффициентов и критерия оптимальности.

Введение

Актуальность весовой оптимизации корродирующих балок обусловлена их широким применением в качестве конструктивных элементов в промышленных машинах и аппаратах, работающих в условиях действия сильноагрессивных сред (растворов неорганических и органических кислот, солей, щелочей, влажных газов и паров). Например, опорные элементы тарелок ректификационных колон предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности, или опоры мешалок в дефикационных аппаратах сахарных заводов. В то же время, недостаточная изученность процессов коррозии под напряжением приводит к тому, что для компенсации коррозионных потерь при проектировании машин и агрегатов предусматривается запас толщины, в результате чего непродуктивно затрачивается до 20% металла. Поэтому, представляет интерес определение точной формы и размеров сечения балки, обеспечивающих заданную долговечность и эксплуатационную надежность при минимальном весе конструкции.

© Зеленцов Д.Г., Радуль А.А., 2009

Постановка задачи

При решении задачи весовой оптимизации балок, подверженных коррозионному износу, в ряде работ предлагается двухконтурная модель (далее – модель 1), изображенная на рис. 1.

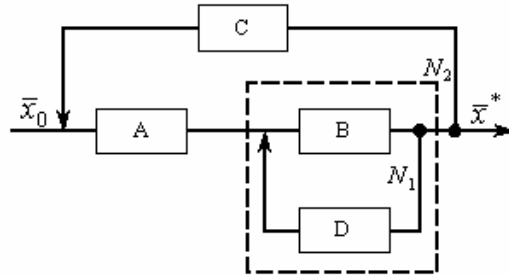


Рисунок 1 - Двухконтурная модель (модель 1)

Где А – модуль вычисления целевой функции; В – модуль вычисления функции ограничений; С – модуль решения задачи нелинейного программирования; D – модуль пересчета геометрических параметров; $\bar{x}_0$ – вектор входных параметров (параметры конструкции, агрессивность среды, срок эксплуатации); $\bar{x}^*$ – вектор выходных параметров (оптимальные параметры конструкции).

Как задача нелинейного математического программирования эта постановка может быть сформулирована в виде:

$$\begin{cases} A(\bar{x}) \rightarrow \min \\ [\sigma] - \frac{M_y^{\max}}{I(\bar{x}, t^*)} \geq 0 \\ x_i^- \leq x_i \leq x_i^+ \end{cases} \quad (1)$$

В качестве математической модели коррозионного износа была принята модель [1], учитывающая влияние напряженно-деформированного состояния на скорость коррозии, где v_0 – скорость коррозии при отсутствии напряжений; k – коэффициент, учитывающий влияние напряжений на скорость коррозии; $\sigma(t)$ – напряжение, как функция времени.

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0 (1 + k\sigma(t)) \quad (2)$$

Двухконтурная модель неудобна по нескольким причинам. Второй контур, который учитывает влияние напряжений на скорость коррозионного процесса, приводит к значительному увеличению количества итераций, так как в нем численно решается задача Коши

на каждом шаге вычисления функции ограничений. Кроме того, увеличивается погрешность решения задачи оптимизации, а при расчете статически неопределимых систем, когда в функции ограничений необходимо численно решать систему уравнений метода конечных элементов, погрешности вообще становятся неконтролируемыми.

При решении ряда задач возможен переход к модели с последовательными одноконтурными связями (далее – модель 2), когда сначала находится оптимальный проект в момент разрушения конструкции без учета коррозионного износа, а затем производится наращивание жертвенного слоя на оптимальный проект исходя из заданной скорости коррозии и срока эксплуатации (рис. 2).

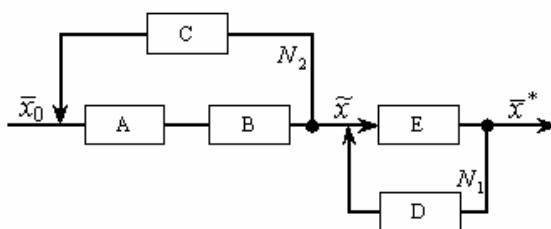


Рисунок 2 - Модель с последовательными одноконтурными связями (модель 2)

В модели 2 появляется модуль Е – модуль пересчета оптимальных параметров; $\tilde{x}$ – вектор оптимальных параметров для нейтральной среды.

Как задача нелинейного математического программирования постановка может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \omega \cdot P + (1 - \omega) \cdot A \rightarrow \min \\ [\sigma] - \frac{M_y^{\max}}{I(\bar{x})} \geq 0 \\ x_i^- \leq x_i \leq x_i^+ \end{cases} \quad (3)$$

где ω – весовой коэффициент, зависящий от обобщенного параметра агрессивности среды $\nu_0 t$; P – периметр сечения; A – площадь сечения.

В модели 2 решение задачи Коши осуществляется только один раз при пересчете оптимальных параметров конструкции в соответствии со степенью агрессивности среды, что значительно повышает ее эффективность. Более того, разделение модулей вычисления функции ограничений и моделирования коррозионного

процесса позволяет контролировать погрешности численных процедур в каждом из них и повышать точность получаемых решений.

При переходе от модели 1 к модели 2 необходимо учитывать влияние периметра поперечного сечения. В ряде работ для учета периметра сечения предлагается изменять критерий оптимальности, т.е. включать периметр в целевую функцию наряду с площадью сечения, при этом вводится весовой коэффициент, значение которого и определяет степень влияния периметра. Оптимальные проекты, полученные при различных постановках, будут совпадать лишь при правильном выборе весовых коэффициентов [2, 3]. Однако, в этих работах значения весовых коэффициентов, позволяющих осуществить корректный переход от модели 1 к модели 2, получены численно, что затрудняет быстрое и точное их вычисление.

В настоящей работе предлагается подход к определению весовых коэффициентов, основанный на аналитическом решении поставленной задачи. Такой подход, с точки зрения авторов, с одной стороны, более корректен, с другой позволяет подтвердить достоверность полученных в [2, 3] результатов.

Получение аналитического решения для балки прямоугольного сечения

В качестве модельной конструкции рассматривается статически определимая балка прямоугольного сечения с высотой h и шириной b , подверженная коррозионному износу, который описывается моделью (2). Предполагается, что известно положение опасного сечения и значение изгибающего момента M .

Сначала найдем решение задачи при отсутствии агрессивной среды ($t^* = 0$):

$$\begin{cases} 2\omega(b+h) + (1-\omega)bh \rightarrow \min. \\ \left[\sigma \right] - \frac{6M}{bh^2} \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

В результате решения задачи (4) получим параметрическое семейство решений, зависящих от параметра ω .

Так как решение задачи возможно только на границе допустимой области, преобразуем двумерную задачу оптимизации в одномерную, используя ограничение и считая его активным. Принимая во внимание то, что осевой момент сопротивления определяется из условия прочности для случая чистого изгиба,

выражаем ширину сечения через его высоту и осевой момент сопротивления:

$$W = \frac{M}{[\sigma]} = \frac{bh^2}{6} \Rightarrow b = \frac{6W}{h^2}. \quad (5)$$

После подстановки значений b в выражение (4) целевая функция приобретает вид:

$$2\omega \left(\frac{6W}{h^2} + h \right) + (1 - \omega) \frac{6W}{h} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Чтобы определить минимум целевой функции приравняется нулю ее первая производная, которая после несложных математических преобразований имеет вид:

$$\omega h^3 - 3W(1 - \omega)h - 12\omega W = 0. \quad (7)$$

Полученное уравнение решается точно с использованием формул Кардано относительно h . Таким образом, в отличие от результатов полученных в [2], в данном случае отсутствует погрешность решения задачи (4). При значениях весового коэффициента $\omega \in [0;1]$ получаем аналитическое решение задачи весовой оптимизации в виде множества $h_i \times b_i$, зависящих от весового коэффициента и удовлетворяющих условию прочности балки в момент разрушения $W(h_i; b_i) = \frac{M}{[\sigma]} = \text{const.}$

Далее для каждой пары $h_i \times b_i$ был смоделирован процесс коррозионного износа при заданных скорости коррозии v_0 и сроке эксплуатации t^* . В дальнейшем в работе используется обобщенный параметр $\delta_0 = v_0 t^*$, представляющий собой степень агрессивности среды. Результаты моделирования приведены в табл. 1.

Анализ результатов, приведенных в табл. 1 и на рис. 3, позволяет сделать вывод о том, что минимумом площади поперечного сечения в начальный момент времени обладают балки с определенным отношением высоты к ширине (весовой коэффициент ω). Причем весовой коэффициент увеличивается с увеличением обобщенного показателя скорости коррозии $v_0 t^*$.

Таблица 1

Значения площади поперечного сечения балки при различных значениях обобщенного параметра $\nu_0 t^*$ и весового коэффициента ω

$\omega \backslash \nu_0 t^*$	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,05	2,15	6,34	10,75	19,04	27,16	35,28	43,44	51,67	59,97	68,36	76,84	85,41
0,10	2,01	5,49	8,94	15,18	21,14	27,04	32,93	38,85	44,82	50,86	56,96	63,14
0,15	1,97	5,14	8,20	13,61	18,71	23,72	28,70	33,70	38,74	43,83	48,97	54,18
0,20	1,96	4,95	7,78	12,72	17,34	21,85	26,33	30,82	35,34	39,91	44,52	49,20
0,25	1,98	4,84	7,51	12,15	16,46	20,65	24,80	28,96	33,15	37,38	41,65	45,99
0,30	2,02	4,77	7,34	11,75	15,84	19,80	23,73	27,66	31,62	35,61	39,65	43,75
0,35	2,08	4,74	7,22	11,47	15,39	19,19	22,95	26,71	30,49	34,31	38,18	42,10
0,40	2,15	4,73	7,14	11,26	15,05	18,73	22,36	25,99	29,64	33,33	37,06	40,85
0,45	2,24	4,74	7,10	11,11	14,80	18,37	21,90	25,43	28,98	32,57	36,20	39,88
0,50	2,34	4,77	7,08	11,01	14,62	18,11	21,55	25,00	28,47	31,97	35,52	39,12
0,55	2,46	4,82	7,09	10,94	14,48	17,90	21,28	24,66	28,06	31,50	34,98	38,51
0,60	2,58	4,88	7,10	10,90	14,38	17,75	21,07	24,40	27,74	31,12	34,55	38,03
0,65	2,71	4,95	7,13	10,88	14,31	17,64	20,92	24,20	27,50	30,83	34,21	37,64
0,70	2,85	5,03	7,18	10,89	14,28	17,56	20,80	24,04	27,30	30,60	33,94	37,33
0,75	2,99	5,12	7,24	10,90	14,26	17,51	20,72	23,93	27,16	30,42	33,73	37,09
0,80	3,13	5,21	7,30	10,93	14,27	17,48	20,66	23,84	27,05	30,28	33,56	36,90
0,85	3,28	5,31	7,38	10,97	14,28	17,47	20,63	23,79	26,97	30,18	33,44	36,75
0,90	3,43	5,42	7,46	11,02	14,31	17,48	20,62	23,76	26,92	30,11	33,35	36,64
0,95	3,58	5,53	7,55	11,08	14,35	17,51	20,63	23,75	26,89	30,07	33,29	36,56
1,00	3,73	5,64	7,64	11,15	14,40	17,54	20,65	23,76	26,88	30,04	33,25	36,50

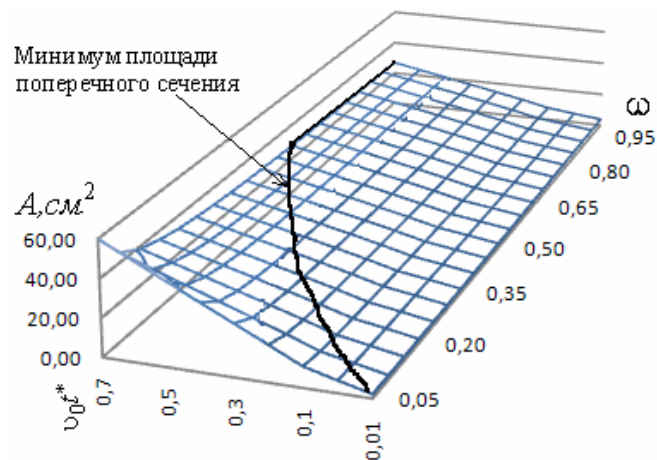


Рисунок 3 - Зависимость площади поперечного сечения от параметров $\nu_0 t^*$ и ω

Задача (4) решалась для балок с моментами сопротивления в пределах от 20 до 2000 см³. Оказалось, что значения весовых коэффициентов зависят только от скорости коррозии, поэтому после статистической обработки данных была предложена эмпирическая формула для нахождения весового коэффициента:

$$\omega = -0,3(v_0 t)^2 + 0,77 v_0 t + 0,03. \quad (8)$$

Численная иллюстрация

Численный эксперимент проводился для балки постоянной жесткости со следующими параметрами: $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $[\sigma] = 240 \text{ МПа}$. Параметры агрессивной среды: $k = 0,003 \text{ МПа}^{-1}$; $0,01 \leq v_0 \leq 1 \text{ см/год}$. Расчетная схема балки приведена на рис. 4. На участке балки ВС имеет место чистый изгиб.

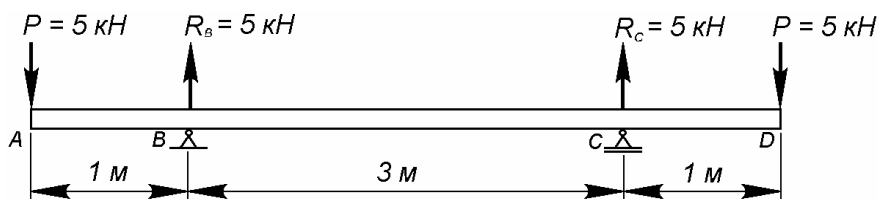


Рисунок 4 - Расчетная схема

Анализ результатов численного эксперимента показал, что при определенном значении весового коэффициента площадь сечения минимальна. Значения весовых коэффициентов, при которых площадь сечения балки принимает минимальное значение приведена в табл. 2.

Таблица 2

Значения весового коэффициента и площади поперечного сечения балки при различных значениях скорости коррозии

$v_0 t$	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ω	0,052	0,112	0,185	0,248	0,299	0,341	0,375	0,408	0,434	0,458	0,478
h , см	34,60 (34,22)	24,23 (23,72)	16,87 (18,26)	15,18 (15,31)	13,99 (14,19)	13,12 (12,85)	13,36 (12,93)	12,71 (12,61)	12,22 (12,47)	12,46 (12,52)	12,08 (13,00)
b , см	0,13 (0,14)	0,49 (0,50)	1,01 (0,93)	1,40 (1,39)	1,80 (1,78)	2,21 (2,25)	2,44 (2,52)	2,85 (2,87)	3,26 (3,19)	3,48 (3,46)	3,89 (3,62)
A , см ²	4,64 (4,79)	11,80 (11,79)	17,03 (16,99)	21,31 (21,29)	25,23 (25,21)	28,97 (28,96)	32,62 (32,57)	36,20 (36,16)	39,80 (39,74)	43,39 (43,34)	47,03 (47,04)

В табл. 2 приведены численные результаты решения задачи весовой оптимизации корродирующей балки прямоугольного сечения (рис. 4), полученные с помощью модели 2. В скобках приведены результаты решения той же задачи, но с помощью модели 1.

Расхождения результатов не превышают 0,2%, что подтверждает их достоверность.

Выводы

Совпадение результатов, полученных при аналитическом решении задачи (4) с результатами, приведенными в [2], полностью подтверждает сформулированное в [2] утверждение о возможности использования модели с двумя последовательными одноконтурными связями при правильном выборе весовых коэффициентов и критерия оптимальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долинский В.М. Расчет нагруженных труб, подверженных коррозии / В.М. Долинский // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1967. – №2. – С. 9-10.
2. Зеленцов Д.Г. Исследование влияния периметра на оптимальные параметры сечений корродирующих изгибаемых стержневых элементов / Д.Г. Зеленцов, Т.Ю. Ускова // Вопр. химии и хим. технологии. – 2004. – №6. – С. 119-122.
3. Зеленцов Д.Г. Новые модели решения задач весовой оптимизации корродирующих изгибаемых стержневых элементов / Зеленцов Д.Г., Ускова Т.Ю. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (42). – Дніпропетровськ, 2006. – С. 23-32.

УДК 658.562

Є.В. Чернецький

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ ДЕФОРМАЦІЇ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО
КАНАЛУ (ЯКЩО ДОПОМІЖНІ ВЕЛИЧИНИ ФОРМУЮТЬСЯ БЕЗ
ПОХИБКИ)**

Анотація. Розглянуто структурно-алгоритмічний метод підвищення вірогідності контролю, який полягає у деформації характеристики перетворення вимірювального каналу. Наведено цільові функції ефективності та визначено критерії вибору типу циклу деформації. Ключові слова. Вимірювальний канал, вірогідність контролю, систематична похибка, деформація характеристики перетворення.

Вступ

Підвищення вірогідності отриманої інформації – це завдання, яке необхідно вирішувати, враховуючи як економічні, так і технологічні показники [1, 2]. Створення галузевих методів дозволить використовувати їх серійно в певній галузі та зробить їх більш ефективними (так як будуть враховані умови експлуатації і метод не буде ускладнений непотрібними для даного випадку обмеженнями).

Однією з галузей, де можна застосовувати методи підвищення вірогідності отриманої інформації є енергетика. Як правило, промислові спалювальні установки обладнуються системами контролю за режимом горіння. При цьому первинні вимірювальні перетворювачі, які знаходяться на об'єкті, віддалені від вимірювальних перетворювачів і систем керування, що у свою чергу знаходяться у спеціалізованих приміщеннях. У зв'язку з такою особливістю вимірювальні канали мають з'єднувальні лінії десятків, а то і сотень метрів, що пролягають поміж обладнанням. При цьому на лінії зв'язку постійно впливатимуть промислові завади, що призведе до появи адитивної складової систематичної похибки. З іншого боку, при роботі спалювальних установок на твердому та рідкому паливі до атмосфери викидаються оксиди сірки, які при контакті з вологим повітрям можуть утворювати кислоту, яка у свою чергу руйнуватиме ізоляцію з'єднувальних ліній. А це призведе до

витоку струму і, як наслідок, до появи мультиплікативної складової систематичної похибки.

Тому провадження методів підвищення вірогідності в системи контролю за роботою спалювальних установок дозволить знизити викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря та зменшити екологічні витрати за рахунок точного дотримання режиму горіння [3].

Мета дослідження

Проаналізувати ймовірність появи помилкових рішень для мультиплікативного та адитивного циклів деформації при введенні елементів, що використовуються для деформації характеристики перетворення, у середину вимірювального каналу. Отримати узагальнювальні вирази, які дозволять визначити ймовірність помилкових рішень при контролі на будь якому етапі та циклі деформації.

Постановка задачі

З огляду на метод деформації характеристики перетворення вимірювального каналу можна визначити основні фактори, які впливатимуть на ефективність методу [3]. Відповідно до цього необхідно визначити, яким чином впливають на ефективність методу наступні фактори:

- відношення довжини довірчого інтервалу контролю до параметрів розподілу контрольованої величини (для цього в розрахунках вводиться коефіцієнт B , який дорівнює $B_{p,a} = (x_v - x_n)/2a$ – для рівномірного та арксинусоїдального законів розподілу, та $B_n = (x_v - x_n)/2\sigma$ – для нормального закону розподілу);
- несиметричність границь довірчого інтервалу відносно математичного сподівання, яке відображається за допомогою коефіцієнта N , який дорівнює $N = (M_x - x_n)/(x_v - M_x)$ – для всіх законів розподілу, якщо закон симетричний, то $N=1$;
- співвідношення між складовими систематичної похибки (для адитивної складової вводиться відносний параметр $\mu = \Delta/M_x$);
- кількість циклів деформації;
- вид циклу деформації.

Розробка алгоритму використання методу

Для оцінки ефективності методів деформації характеристики і зміни її як усередині циклу, так і від циклу до циклу, а також дослідження зміни ефективності від кількості циклів буде розглядатися, як відношення вихідної ймовірності помилкових рішень $P_{\text{пом}}$ до ймовірності помилкових рішень після деформації P_A – ймовірність прийняття помилкових рішень при адитивному циклі

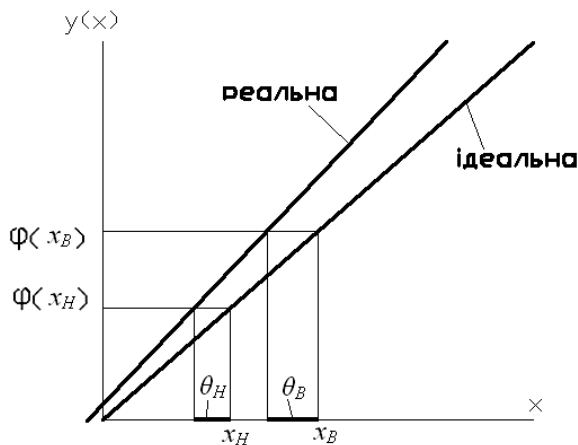


Рис. – 1 Механізм утворення неправильних рішень

деформації та P_M – при мультиплікативному циклі деформації. Відповідно до цього ефективність методу буде позначатися $J_A = P_{\text{пом}} / P_A$ та $J_M = P_{\text{пом}} / P_M$.

При оцінюванні ефективності методу будемо розглядати найбільш поширені закони розподілу контрольованих величин,

рівномірний розподіл, та Гаусівський (нормальний) розподіл, а також будемо розглядати арксинусоїдальний закон розподілу.

Відповідно до рис. 1 ймовірність прийняття рішень, придатний для ідеальної характеристики перетворення, буде визначатися як

$$P_{np}^{id} = \int_{x_H}^{x_B} f(x) dx, \text{ а для реальної характеристики перетворення}$$

$$P_{np}^{real} = \int_{x_H - \theta_H}^{x_B - \theta_B} f(x) dx = \int_{x_H - \theta_H}^{x_H} f(x) dx + \int_{x_H}^{x_B} f(x) dx + \int_{x_B}^{x_B - \theta_B} f(x) dx = \int_{x_H - \theta_H}^{x_H} f(x) dx + \int_{x_H}^{x_B} f(x) dx - \int_{x_B - \theta_B}^{x_B} f(x) dx$$

Якщо записати цей вираз з урахуванням виду відмови, то отримаємо:

$P_{np}^{real} = P_H + P_{np}^{real} - P_X$, де P_X – ймовірність хибної відмови, P_H – ймовірність невизначеної відмови. Графічно це можна зобразити наступним чином.

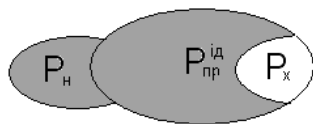


Рис. – 2 Зміна ймовірності прийняття рішення придатний для реальної характеристики перетворення

Відповідно до рис.2 найбільшим еліпсом зображено ймовірність прийняття рішень, придатний для ідеальної характеристики. Але

внаслідок впливу систематичних похибок реальна характеристика буде відрізнятися від ідеальної, внаслідок чого зміниться $P_{пр}$. При цьому ймовірність невизначених відмов буде призводити до збільшення $P_{пр}$, а ймовірність хибних відмов – до зменшення. У результаті чого результативна ймовірність прийняття рішення придатний для реальної характеристики перетворення, буде визначатися зоною, замальованою сірим кольором.

Далі для адекватного оцінення ефективності методу будемо проводити аналіз зміни сумарної площі, позначених на рис. 2 як P_H і P_X , у процесі деформації характеристики перетворення.

Спочатку визначимо цільову функцію для рівномірного закону розподілу. Для даного випадку маємо найпростіший варіант визначення ефективності методу, так як вона буде прямо пропорційно залежати від еквівалентних інтервалів зміщення.

Відповідно до методу деформації характеристики перетворення ВК ймовірність прийняття помилкових рішень до деформації можна визначити як $P_{пом} = (\theta_v + \theta_n) \cdot A$ (2.9), де A – параметр розподілу контрольованої величини [4].

Тепер визначимо вираз для ймовірності помилкових рішень після деформації. Спочатку розглянемо адитивний цикл деформації. Ймовірність помилкових рішень відповідно на першому та другому етапі деформації:

$$P_1^a = \theta_{e1} \cdot A = \alpha x_n (\beta - 1) \cdot A \quad \text{та} \quad P_2^a = \theta_{n1} \cdot A = \alpha x_n \frac{\beta - 1}{\beta} \cdot A$$

Тепер визначимо ефективність методу відповідно на першому та другому етапі:

$$J_1^a = \frac{P_{пом}}{P_1^a} = \frac{(\theta_e + \theta_n) \cdot A}{\theta_{e1} \cdot A} = \frac{\alpha(x_e + x_n) + 2\Delta}{\alpha x_n (\beta - 1)}$$

$$J_2^a = \frac{P_{пом}}{P_2^a} = \frac{(\theta_e + \theta_n) \cdot A}{\theta_{n1} \cdot A} = \frac{\alpha(x_e + x_n) + 2\Delta}{\alpha x_n \frac{(\beta - 1)}{\beta}} \quad (1)$$

Аналогічним чином отримаємо ймовірність помилкових рішень при мультиплікативному циклі деформації:

$$P_1^m = \theta_{n1} \cdot A = \Delta \frac{(\beta - 1)}{\beta} \cdot A \quad \text{та} \quad P_2^m = \theta_{e1} \cdot A = \Delta \frac{\beta - 1}{\beta} \cdot A$$

Звідси отримаємо ефективність для мультиплікативного циклу:

$$J_1^m = \frac{P_{пом}}{P_1^m} = \frac{(\theta_e + \theta_n) \cdot A}{\theta_{n1} \cdot A} = \frac{\alpha(x_e + x_n) + 2\Delta}{\Delta \frac{(\beta - 1)}{\beta}} \quad (2)$$

Як видно з цільових функції (1, 2) ефективність методу при рівномірному законі розподілу контрольованого параметру не залежить від значення параметру розподілу A . Тому далі будемо розглядати цільову функцію як залежність від значення параметру α та Δ . Для того щоб визначити характер функції, обчислимо першу похідну та визначимо, чи має функція екстремуми і які саме.

Після обчислень було визначено, що при мультиплікативному циклі деформації функція J^1_m буде мати один екстремум (мінімум) при наступному співвідношенні складових похибки:

$$a = -\frac{2\Delta}{(x_e + x_n)}. \quad (3)$$

Припустимо, що адитивна складова похибки складає 10% від математичного сподівання ($\Delta=0,1M_x$), а довжина допускового інтервалу 40% від M_x ($x_n=M_x-0,2M_x$, $x_v=M_x+0,2M_x$), то вираз (3) матиме вигляд:

$$a = -\frac{2 \cdot 0,1 \cdot M_x}{(M_x - 0,2 \cdot M_x) + (M_x + 0,2 \cdot M_x)} = -\frac{2 \cdot 0,1 \cdot M_x}{M_x + M_x} = -0,1$$

Таким чином, метод матиме найменшу ефективність при значеннях параметру α , близьких за модулем до значення адитивної складової похибки, але з протилежним знаком, тобто коли $a = -\Delta/M_x$. Якщо перейти до мультиплікативної складової похибки отримаємо:

$$\alpha = -\Delta/M_x; \quad \frac{\gamma}{1+\gamma} = -\frac{\Delta}{M_x}; \quad \gamma M_x = -\Delta - \Delta\gamma; \quad \gamma M_x + \Delta\gamma = -\Delta; \quad \gamma = \frac{-\Delta}{M_x + \Delta}.$$

Проаналізуємо яким, чином впливає адитивна складова систематичної похибки. Тоді вираз (2) матиме вигляд

$$J^m_1(\Delta) = \frac{1}{\Delta} \cdot \frac{\alpha \cdot \beta \cdot (x_e + x_n)}{\beta - 1} + \frac{2 \cdot \beta}{\beta - 1}, \text{ тобто функціональну залежність типу}$$

$Y(x)=1/x$ функція даного виду не має екстремумів і не дорівнює нулю.

Далі розглянемо адитивний цикл деформації. У цьому випадку будемо розглядати дві функції (для першого та другого циклів деформації). Згідно з (1) цільові функції залежно від α матимуть вигляд:

$$J^a_1(\alpha) = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{2\Delta}{x_n(\beta - 1)} + \frac{(x_e + x_n)}{x_n(\beta - 1)}, \quad J^a_2(\alpha) = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{2\Delta \cdot \beta}{x_n(\beta - 1)} + \frac{(x_e + x_n) \cdot \beta}{x_n(\beta - 1)}$$

Отже, ми отримали залежності типу $Y(x)=1/x$. Причому ефективність на другому етапі деформації буде в β разів більше, ніж

на першому етапі. Як і для мультиплікативного циклу (з таким видом залежності) у даному випадку екстремумів не буде. Звідси можна припустити, що адитивний цикл деформації також буде мати тільки одну точку мінімальних значень ефективності функції. Для перевірки цього припущення дослідимо функцію на залежність від Δ :

$$J_1^a(\Delta) = \Delta \cdot \frac{2}{\alpha x_n(\beta - 1)} + \frac{\alpha(x_a + x_n)}{\alpha x_n(\beta - 1)}, \quad J_2^a(\Delta) = \Delta \cdot \frac{2\beta}{\alpha x_n(\beta - 1)} + \frac{\alpha(x_a + x_n) \cdot \beta}{\alpha x_n(\beta - 1)}$$

Тепер визначимо точку мінімальних значень.

$$J_1^a(\Delta) \Rightarrow \Delta = -\frac{\alpha(x_a + x_n)}{2}, \quad J_2^a(\Delta) \Rightarrow \Delta = -\frac{\alpha(x_a + x_n)}{2} \quad (4)$$

Як видно, точка мінімальної ефективності буде співпадати як для першого, так і для другого етапу деформації. Як і в попередньому випадку, підставимо замість x_n , x_a та Δ їх значення, виражені через математичне сподівання:

$$0,1M_x = -\frac{\alpha(0,2M_x + M_x + M_x - 0,2M_x)}{2} = -\frac{\alpha \cdot 2M_x}{2} = -\alpha \cdot M_x \Rightarrow \alpha = -0,1$$

Отримані вирази свідчать, що мінімальна ефективність спостерігається у випадку, коли $\alpha = -\Delta/M_x$.

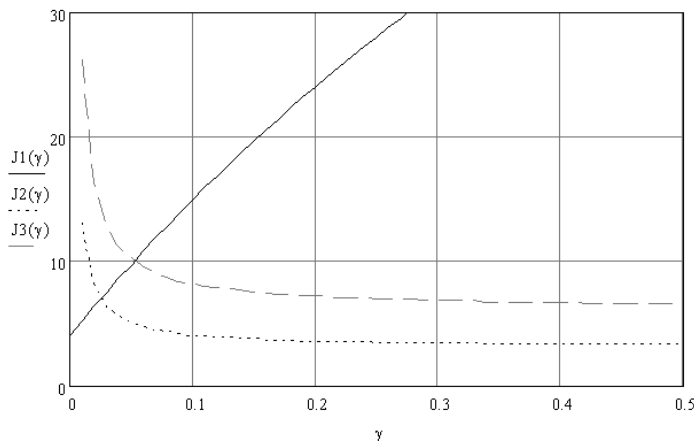


Рис. – 3 Цільові функції ефективності для рівномірного закону розподілу

Отриманий результат цілком співпадає зі співвідношенням для мультиплікаційного циклу.

Для оцінки, при якому співвідношенні буде ефективний той чи інший цикл деформації, проведемо числове моделювання, тобто

отримаємо графічні залежності цільових функцій (1) та (2). На рис. 3 зображено цільові функції ефективності $J1(\gamma)$ – для мультиплікативного циклу деформації, $J2(\gamma)$ та $J3(\gamma)$ – відповідно перший та другий етапи адитивного циклу деформації.

Як видно з рисунку, при одних і тих же значеннях складових похибки мультиплікативний та адитивний цикл деформації мають різну ефективність. При оціненні ефективності будемо аналізувати другий етап адитивного циклу та перший мультиплікативного.

Визначимо точку перетину цільових функцій для мультиплікативного та адитивного циклу, для цього порівнюємо вирази (1) та (2). Після розв'язання рівняння отримаємо:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_n \cdot \beta - \Delta}. \quad (5)$$

Зважаючи на отриманий результат та рис. 3, можна стверджувати, що при значенні $\gamma < \frac{\Delta}{x_n \cdot \beta - \Delta}$ доцільно використовувати адитивний цикл деформації (виконувати обидва етапи), а в іншому випадку використовувати мультиплікативний цикл деформації (виконувати тільки перший етап). Далі співвідношення (5) будемо називати граничним при виборі того чи іншого циклу деформації.

Розглянемо, яким чином впливає симетричність границь контролю відносно математичного сподівання на ефективність методу деформації. Для аналізу будемо використовувати отримані співвідношення складових похибки (3) та (4) і підставляти замість x_n , x_v та Δ їх значення, виражені через математичне сподівання. Будемо розглядати два випадки несиметричності:

$$\text{а) } x_e = M_x + 0,3M_x, x_n = M_x - 0,1M_x, N = \frac{M_x - x_n}{x_e - M_x} = \frac{M_x - M_x + 0,1M_x}{M_x + 0,3M_x - M_x} = 0,3;$$

$$\text{б) } x_e = M_x + 0,1M_x, x_n = M_x - 0,3M_x, N = \frac{M_x - x_n}{x_e - M_x} = \frac{M_x - M_x + 0,3M_x}{M_x + 0,1M_x - M_x} = 3.$$

Для адитивного циклу деформації співвідношення (4) з урахуванням умови несиметричності матиме вигляд:

а)

$$0,1M_x = -\frac{\alpha(0,3M_x + M_x + M_x - 0,1M_x)}{2} = -\frac{\alpha \cdot 2,2M_x}{2} = -1,1\alpha M_x \Rightarrow \alpha = -\frac{0,1}{1,1} = -0,09$$

б)

$$0,1M_x = -\frac{\alpha(0,1M_x + M_x + M_x - 0,3M_x)}{2} = -\frac{\alpha \cdot 1,8M_x}{2} = -0,9\alpha M_x \Rightarrow \alpha = -\frac{0,1}{0,9} = -0,11$$

Тепер розглянемо співвідношення (3) для мультиплікативного циклу:

$$\text{а) } \alpha = -\frac{2 \cdot 0,1M_x}{(M_x - 0,3M_x) + (M_x + 0,3M_x)} = -\frac{0,2M_x}{2,2M_x} = -0,09;$$

$$\text{б) } \alpha = -\frac{2 \cdot 0,1M_x}{(M_x - 0,3M_x) + (M_x + 0,1M_x)} = -\frac{0,2M_x}{1,8M_x} = -0,11.$$

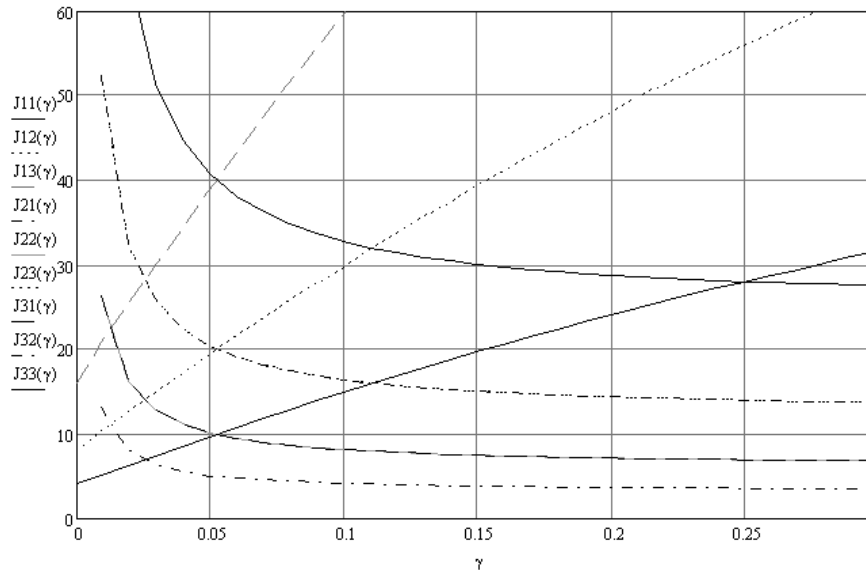


Рис. – 4 Цільові функції ефективності для рівномірного закону розподілу при трьох циклах деформації

Таким чином, при зміні симетричності розташування границь контролю відносно математичного сподівання відбувається незначне зміщення точки мінімального значення цільової функції. А саме зміщення становить близько 1%. З огляду на отриманий результат несиметричності границь контролю можна знехтувати і обирати той чи інший цикл деформації, виходячи зі співвідношення складових похибки.

При порівняльному аналізі циклів деформації для декількох циклів було отримано залежності, представлені на рис. 4, де цільові функції ефективності $J_{11}, 12, 13(\gamma)$ – для мультиплікативного циклу деформації, $J_{21}, 22, 23(\gamma)$ та $J_{31}, 32, 33(\gamma)$ – відповідно перший та другий етапи адитивного циклу деформації. Друга цифра позначає номер циклу деформації, для наглядності обмежимося трьома циклами деформації.

Як видно з рис. 4 при збільшенні кількості циклів деформації не відбувається зміщення граничного співвідношення складових систематичної похибки, тому кількість циклів деформації не буде впливати на вибір циклу.

Далі аналогічним чином було проведено аналіз методу деформації характеристики перетворення при розподілі

контрольованого параметру за нормальним та арксинусоїдальним законами розподілу. У результаті чого було отримано наступні дані:

- цільова функція ефективності на мультиплікативному циклі буде мати тільки одну точку мінімальної ефективності;
- цільова функція ефективності на адитивному циклі буде мати одну точку мінімальної та максимальної ефективності;
- мінімуми цільових функцій для адитивного та мультиплікативного циклів не співпадають;
- на відміну від випадку розподілу контрольованого параметру за рівномірним законом розподілу при нормальному та арксинусоїдальному законі розподілу буде спостерігатися двопараметрове граничне обмеження. Якщо виконується нерівність $\gamma_A < \gamma < \gamma_B$ (рис. 5), то необхідно виконувати адитивний цикл деформації, при невиконанні нерівності – мультиплікативний.

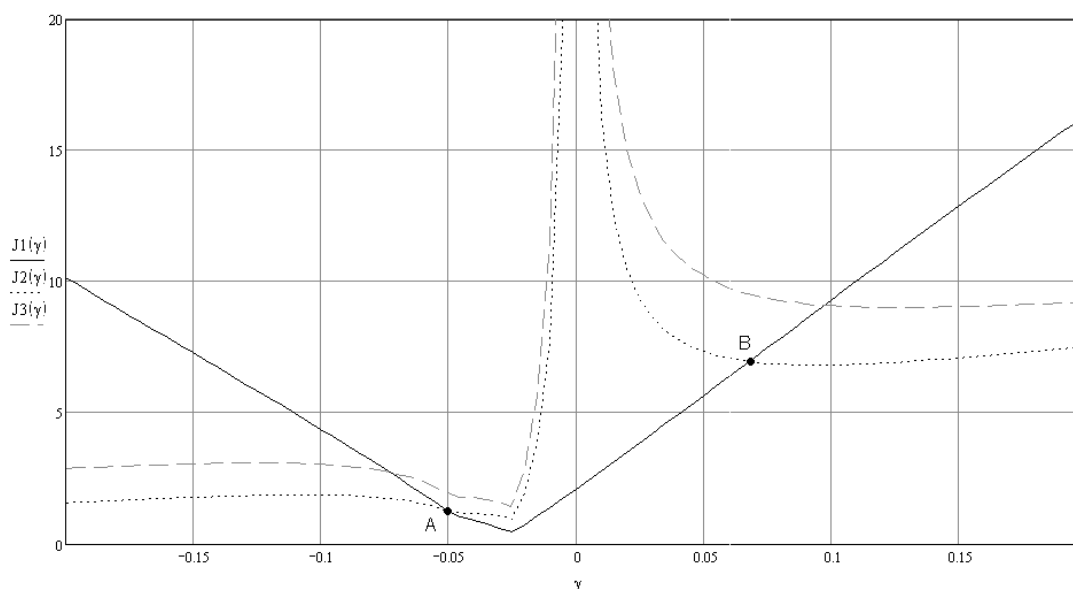


Рис. – 5 Цільові функції ефективності для нормального закону розподілу

На відміну від випадку з рівномірним розподілом, при отриманні точок перетину для арксинусоїдального та нормального розподілу було отримано вирази, які враховують і ширину довірчого інтервалу, симетричність цього інтервалу, а також співвідношення складових похибки. Таким чином розрахунок значень γ_A та γ_B враховує вплив всіх зазначених факторів.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз дозволяє чітко сформулювати критерії вибору типу циклу деформації для методу деформації характеристики перетворення ВК:

- при рівномірному розподілі контрольованого параметру метод буде мати найменшу ефективність при значеннях параметру α близьких за модулем до значення адитивної складової похибки, але з протилежним знаком, тобто коли $\alpha = -\Delta/M_x$;

- при значенні $\gamma < \Delta/(x_n \cdot \beta \cdot \Delta)$ доцільно використовувати адитивний цикл деформації (виконувати обидва етапи), а в іншому випадку використовувати мультиплікативний цикл деформації (виконувати тільки перший етап);

- при нормальному та арксинусоїдальному законі розподілу буде спостерігатися двопараметрове граничне обмеження. Якщо виконується нерівність $\gamma_A < \gamma < \gamma_B$ (рис. 5), то необхідно виконувати адитивний цикл деформації, при невиконанні нерівності – мультиплікативний.

Слід зауважити, що в даному випадку розглянуто варіант, коли допоміжні величини формуються без похибки. Але це з практичної точки зору не можливо. Тому слід провести дослідження та визначити, яким чином зміняться критерії вибору циклу, якщо допоміжні величини будуть формуватися з деякою похибкою Δ_0 [4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Яцук В.О., Малахівський П.С. Методи підвищення точності вимірювань: підручник/ «Бескід Біт» 2008. – 368 с.
2. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю /Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О, Сердюк Г.Б. – Вінниця: Велес, 2001.-219 с.
3. Чернецький Є.В., Черненко І.М., Мисов О.П.. Метод зменшення викидів забруднювальних речовин в атмосферу за рахунок підвищення вірогідності контролю вмісту O_2 // Вопросы химии и химической технологии. – 2010. – № 1. – С. 63-67.
4. Володарський Є.В., Кошева Л.О., Чернецький Є.В.. Підвищення вірогідності контролю за рахунок деформації характеристики перетворення вимірювального каналу// Вісник Хмельницького національного університету. – Частина 1. Том 1. – 2005 – №4. – С. 212-216.

УДК 681.5

О.Н. Кукушкин, Е.Г. Бойко

**ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ
ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ**

Аннотация. Построена полумарковская модель процесса контроля параметрических отказов автоматизированной системы, найдены стационарные характеристики надежности и качества ее функционирования.

Многообразие автоматизированных систем (АС) и выпускаемой продукции, новые виды автоматизированного контроля ставят перед наукой задачу повышения надежности и качества. Решение этой проблемы весьма актуально в наши дни, так как сложность АС требует высокой точности результатов контроля безотказной работы всех элементов, сокращения времени их восстановления после обнаружения отказа.

В современных источниках [1, 2] рассматриваются математические модели процесса контроля, учитывающие влияние только его периодичности на надежность и эффективность АС, при этом мало внимания уделяется влиянию различных стратегий и точности контроля[3].

В статье представлена математическая модель контроля параметрических отказов автоматизированной восстанавливаемой системы, в которой отказ любого элемента влечет за собой выход из строя всей системы, что позволяет рассматривать ее как однокомпонентную. Предполагается, что параметрический отказ может быть обнаружен только при включенном контроле. Для описания процесса контроля-восстановления АС используется полумарковский процесс (ПМП) с общим фазовым пространством состояний [4].

Рассмотрим систему, функционирующую следующим образом. В начальный момент времени система находится в работоспособном состоянии, контроль включен. Время безотказной работы системы – случайная величина (СВ) α с функцией распределения (ФР) $F(t) = P\{\alpha \leq t\}$ и плотностью распределения (ПР) $f(t)$. Контроль

© Кукушкин О.Н., Бойко Е.Г., 2009

проводится через случайное время δ с ФР $R(t) = P\{\delta \leq t\}$ и ПР $r(t)$. Во время проведения контроля работа системы приостанавливается. Длительность проведения контроля СВ γ с ФР $V(t) = P\{\gamma \leq t\}$ и ПР $v(t)$. Время восстановления системы после обнаружения отказа СВ β с ФР $G(t) = P\{\beta \leq t\}$ и ПР $g(t)$. На период восстановления контроль приостанавливается. После восстановления все свойства системы обновляются.

Для описания функционирования системы введем следующее пространство полумарковских состояний:

$$E = \{111, 212x_1, 211x_1, 101x_2, 202, 220\}.$$

Здесь 111 – система начала работать, контроль включен; $212x_1$ – начался контроль, система работоспособна, на время проведения контроля ее работа приостанавливается, до наступления параметрического отказа осталось время x_1 (без учёта времени остановки системы); $211x_1$ – контроль окончился, система продолжила работу, до наступления параметрического отказа осталось время x_1 (без учёта времени возможной остановки системы); $101x_2$ – наступил параметрический отказ, до начала контроля осталось время x_2 ; 202 – начался контроль, система в отказе; 220 – закончился контроль, обнаружен отказ, началось восстановление системы, контроль приостановлен.

Определим вероятности переходов вложенной цепи Маркова (ВЦМ) $\{\xi_n, n \geq 0\}$:

$$P_{111}^{212x_1} = \int_0^\infty f(x_1 + t)r(t)dt; \quad P_{111}^{101x_2} = \int_0^\infty r(x_2 + t)f(t)dt; \quad P_{211x_1}^{212y_1} = r(x_1 - y_1),$$

$$0 < y_1 < x_1; \quad P_{211x_1}^{101x_2} = r(x_1 + x_2), \quad x_2 > 0; \quad P_{212x_1}^{211x_1} = P_{101x_2}^{202} = P_{202}^{220} = P_{220}^{111} = 1. \quad (1)$$

Обозначим через $\rho(111)$, $\rho(202)$ и $\rho(220)$ значение стационарного распределения ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ на состояниях 111, 202 и 220 и предположим существование стационарной плотности $\rho(212x_1)$, $\rho(211x_1)$ и $\rho(101x_2)$ для состояний $212x_1$, $211x_1$ и $101x_2$ соответственно. Составим для них систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_0 = \rho(111) = \rho(220), \\ \rho(220) = \rho(202), \\ \rho(202) = \int_0^{\infty} \rho(101x_2) dx_2, \\ \rho(212x_1) = \rho(111) \int_0^{\infty} f(x_1 + t) r(t) dt + \int_{x_1}^{\infty} \rho(211y_1) r(y_1 - x_1) dy_1, \\ \rho(211x_1) = \rho(212x_1), \\ \rho(101x_2) = \rho(111) \int_0^{\infty} r(x_2 + t) f(t) dt + \int_0^{\infty} \rho(211y_1) r(y_1 + x_2) dy_1, \\ 3\rho_0 + \int_0^{\infty} \rho(101x_2) dx_2 + 2 \int_0^{\infty} \rho(212x_1) dx_1 = 1. \end{array} \right. \quad (2)$$

Последнее уравнение в системе (2) – условие нормировки.

Можно показать, что система уравнений (2) имеет следующее решение [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_0 = \rho(111) = \rho(220) = \rho(202), \\ \rho(211x) = \rho(212x) = \rho_0 \int_0^{\infty} h_r(t) f(x + t) dt, \\ \rho(101x) = \rho_0 \int_0^{\infty} v_r(z, x) f(z) dz. \end{array} \right. \quad (3)$$

В (3) ρ_0 находится из условия нормировки; $h_r(t) = \sum_{n=1}^{\infty} r^{*(n)}(t)$ – плотность функции восстановления, $r^{*(n)}(t)$ – n -кратная свертка функции $r(t)$; $v_r(z, x) = r(z + x) + \int_0^z r(z + x - s) h_r(s) ds$ – плотность распределения прямого остаточного времени для процесса восстановления.

Для описываемой АС множества работоспособных состояний E_+ и отказовых состояний E_- имеют вид:

$$E_+ = \{111, 211x_1\}, \quad E_- = \{212x_1, 101x_2, 202, 220\}.$$

Найдем средние времена пребывания в состояниях:

$$\begin{aligned} M\theta_{111} &= \int_0^{\infty} \bar{F}(t) \bar{R}(t) dt; & M\theta_{211x_1} &= \int_0^{x_1} \bar{R}(t) dt; & M\theta_{212x_1} &= M\gamma; \\ M\theta_{202} &= M\gamma; & M\theta_{101x_2} &= x_2; & M\theta_{220} &= M\beta. \end{aligned} \quad (4)$$

Среднюю стационарную наработку на отказ T_+ и среднее стационарное время восстановления T_- найдем по формулам [6]:

$$T_+ = \frac{\int_{E_+} m(e) \rho(de)}{\int_{E_+} P(e, E_-) \rho(de)}, \quad T_- = \frac{\int_{E_-} m(e) \rho(de)}{\int_{E_-} P(e, E_-) \rho(de)}. \quad (5)$$

где $\rho(\cdot)$ – стационарное распределение ВЦМ, $m(e)$ – среднее время пребывания в состоянии $e \in E = E_+ \cup E_-$; $P(e, E_-)$ – вероятности переходов ВЦМ из работоспособных состояний в отказовые.

С учетом формул (1), (3) и (4), найдем выражения, входящие в (5):

$$\begin{aligned} \int_{E_+} m(e) \rho(de) &= m(111) \rho(111) + m(211x_1) \rho(211x_1) = \\ &= \rho_0 \int_0^\infty \bar{F}(t) \bar{R}(t) dt + \rho_0 \int_0^\infty dx_1 \int_0^{x_1} \bar{R}(t) dt \int_0^\infty h_r(y) f(x_1 + y) dy = \\ &= \rho_0 \left(\int_0^\infty \bar{F}(t) \bar{R}(t) dt + \int_0^\infty \bar{R}(t) dt \int_t^\infty dx_1 \int_0^\infty h_r(y) f(x_1 + y) dy \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Меняя порядок интегрирования и интегрируя по частям второе слагаемое выражения (6), получаем:

$$\begin{aligned} \int_{E_+} m(e) \rho(de) &= \rho_0 M \alpha. \\ \int_{E_-} m(e) \rho(de) &= m(212x_1) \rho(212x_1) + m(101x_2) \rho(101x_2) + m(202) \rho(202) + \\ &+ m(220) \rho(220) = \\ &= \rho_0 M \gamma \int_0^\infty dx_1 \int_0^\infty h_r(t) f(x_1 + t) dt + \rho_0 \int_0^\infty x_1 dx_1 \int_0^\infty v_r(z, x_1) f(z) dz + \rho_0 M \gamma + \rho_0 M \beta = \\ &= \rho_0 \left(M \gamma + M \beta + M \gamma \int_0^\infty h_r(t) dt \int_0^\infty f(x_1 + t) dx_1 + \int_0^\infty f(z) dz \int_0^\infty x_1 v_r(z, x_1) dx_1 \right) = \\ &= \rho_0 \left(M \gamma + M \beta + M \gamma \int_0^\infty h_r(t) \bar{F}(t) dt + \int_0^\infty f(z) \left(M \delta \hat{H}_r(z) - z \right) dz \right) = \\ &= \rho_0 \left(M \gamma + M \beta - M \alpha + M \gamma \int_0^\infty \bar{F}(t) h_r(t) dt + M \delta \int_0^\infty \hat{H}_r(z) f(z) dz \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Проинтегрировав по частям четвертое слагаемое выражения (7), получим:

$$\int_{E_-} m(e) \rho(de) = \rho_0 \left(M\beta - M\alpha + (M\delta + M\gamma) \int_0^{\infty} \hat{H}_r(t) f(t) dt \right),$$

где $\hat{H}_r(t) = \sum_{n=0}^{\infty} R^{*(n)}(t)$ – функция восстановления, $R^{*(n)}(t)$ – n -кратная свертка функции $R(t)$.

Далее находим:

$$\begin{aligned} \int_{E_+} P(e, E_-) \rho(de) &= P(111, E_-) \rho(111) + P(211x_1) \rho(211x_1) = \rho_0 \int_0^{\infty} dx_1 \int_0^{\infty} f(x_1 + t) r(t) dt + \\ &+ \rho_0 \int_0^{\infty} dx_1 \int_0^{\infty} r(x_1 + t) f(t) dt + \rho_0 \int_0^{\infty} dx_1 \int_0^{\infty} h_r(z) f(x_1 + z) dz \int_0^{x_1} r(x_1 - y) dy + \\ &+ \rho_0 \int_0^{\infty} dx_1 \int_0^{\infty} h_r(z) f(x_1 + z) dz \int_0^{\infty} r(x_1 + y) dy = \\ &= \rho_0 \left(1 + \int_0^{\infty} dx_1 \int_0^{\infty} h_r(z) f(x_1 + z) R(x_1) dz + \int_0^{\infty} dx_1 \int_0^{\infty} h_r(z) f(x_1 + z) \bar{R}(x_1) dz \right) = \\ &= \rho_0 \left(1 + \int_0^{\infty} h_r(z) dz \int_0^{\infty} f(x_1 + z) dx_1 \right) = \rho_0 \left(1 + \int_0^{\infty} \bar{F}(z) h_r(z) dz \right) = \rho_0 \int_0^{\infty} \hat{H}_r(z) f(z) dz. \end{aligned}$$

Таким образом, средняя стационарная наработка на отказ T_+ имеет вид:

$$T_+ = \frac{M\alpha}{\int_0^{\infty} \hat{H}_r(z) f(z) dz}.$$

Среднее стационарное время восстановления T_- определяется формулой:

$$T_- = \frac{M\beta - M\alpha + (M\delta + M\gamma) \int_0^{\infty} \hat{H}_r(t) f(t) dt}{\int_0^{\infty} \hat{H}_r(z) f(z) dz}.$$

Стационарный коэффициент готовности найдем из соотношения: $K_r = \frac{T_+}{T_+ + T_-}$.

Получаем

$$K_r = \frac{M\alpha}{M\beta + (M\delta + M\gamma) \int_0^{\infty} \hat{H}_r(t) f(t) dt}.$$

Не менее важными характеристиками для оценки качества функционирования АС, являются экономические критерии, такие

как средняя прибыль в единицу календарного времени S и средние затраты в единицу времени исправного функционирования C . Для их определения воспользуемся формулами [2]:

$$S = \frac{\int_E m(e) f_s(e) \rho(de)}{\int_E m(e) \rho(de)}, \quad C = \frac{\int_{E_+} m(e) f_c(e) \rho(de)}{\int_{E_+} m(e) \rho(de)}. \quad (8)$$

Здесь $f_s(e)$ и $f_c(e)$ – функции, определяющие соответственно доход и затраты в каждом состоянии.

Для данной АС функции f_s и f_c имеют вид:

$$f_s(e) = \begin{cases} c_1, e \in \{111, 211x_1\}, \\ -c_2, e = 220, \\ -c_3, e \in \{212x_1, 202\}, \\ -c_4, e = 101x_2, \end{cases} \quad f_c(e) = \begin{cases} 0, e \in \{111, 211x_1\}, \\ c_2, e = 220, \\ c_3, e \in \{212x_1, 202\}, \\ c_4, e = 101x_2, \end{cases} \quad (9)$$

где c_1 – прибыль, получаемая за единицу времени функционирования; c_2 – затраты за единицу времени восстановления; c_3 – затраты за единицу времени на контроль; c_4 – потери за единицу времени от брака.

Используя соотношения (3), (4) и (9), находим значения выражений (8):

$$S = \frac{M\alpha(c_1 + c_4) - c_2M\beta - (c_3M\gamma + c_4M\delta) \int_0^{\infty} \hat{H}_{r_1}(t) f(t) dt}{M\beta + (M\delta + M\gamma) \int_0^{\infty} \hat{H}_{r_1}(t) f(t) dt};$$

$$C = \frac{c_2M\beta - c_4M\alpha + (c_4M\delta + c_3M\gamma) \int_0^{\infty} \hat{H}_r(t) f(t) dt}{M\alpha}.$$

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации процесса контроля-восстановления АС для различных стратегий контроля. В дальнейшем планируется использовать полученную методику для построения и исследования математических моделей многокомпонентных АС с последовательным и параллельным соединениями, а также для различных видов контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов/Г.Н. Черкесов. – СПб.: Изд-во «Питер», 2005. – 479 с.
2. Каштанов В.А. Теория надежности сложных систем (теория и практика)/ В.А. Каштанов, А.И. Медведев. – М.: Изд-во «Европейский центр по качеству», 2002. – 470 с.
3. Кузнецов П.И. Основы построения автоматизированных систем контроля сложных систем/ В.С. Гайденоко, Б.К. Жиллюк, С.К. Крылов и др. – М.: Энергия, 1969. – 480 с.
4. Королюк В.С. Стохастические модели систем/В.С. Королюк. – К.: Наук. думка, 1989. – 208 с.
5. Обжерин Ю.Е. Полумарковская модель процесса восстановления с переключением/Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский, А.В. Скатков// Динамические системы: Науч.сб. – 1992. – № 10. – С. 63 – 68.
6. Копп В.Я. Стохастические модели автоматизированных систем с временным резервированием/В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевГТУ , 2000. – 284 с.

УДК 621.9.079

Ю.М. Ревенко

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВОВ СОЖ НА ПАРАМЕТРЫ ТОНКОЙ
СТРУКТУРЫ СПЛАВА ВК20 ПРИ СОВМЕСТНОМ АЛМАЗНОМ
ШЛИФОВАНИИ СО СТАЛЬЮ**

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию влияния составов СОЖ на повышение качества совместного алмазного шлифования рабочих элементов вырубных прецизионных штампов, состоящих из твердого сплава и стали. Было установлено, что применение при алмазном шлифовании твердых сплавов эффективного состава СОЖ создают благоприятные условия для формирования поверхностного слоя деталей с повышенными эксплуатационно-технологическими свойствами.

Введение. Данная работа посвящена повышению качества совместного алмазного шлифования рабочих элементов вырубных прецизионных штампов, состоящих из твердого сплава и стали.

Цель статьи – исследовать влияние составов СОЖ ЭТ-2 и ДИИ-5 (разработанной автором) на качество полученного поверхностного слоя твердосплавных деталей после алмазного шлифования со сталью Х12М.

Используя методику и результаты данного исследования можно обосновано выбирать оптимальные составы СОЖ при размерном алмазном шлифовании твердосплавных деталей в зависимости от требуемого качества получаемого поверхностного слоя, от которого зависит стойкость рабочих поверхностей изготовленной технологической оснастки.

Основное содержание. Современное состояние промышленности Украины требует интенсивных разработок и внедрения новых прогрессивных технологий, способствующих повышению качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Особенно остра эта проблема в электронной промышленности, где при изготовлении твердосплавных вырубных прецизионных штампов (для вырубки выводных рамок интегральных микросхем) наблюдается острый дефицит твердых сплавов, содержащих карбиды вольфрама.

© Ревенко Ю.М., 2009

Важным резервом экономии вольфрамосодержащих твердых сплавов является совершенствование технологии их обработки алмазным шлифованием. При этом необходимо разработать такую технологию, которая бы обеспечила, помимо высокой производительности, повышение качества режущих кромок инструмента (без прижогов, микротрещин и с минимальными остаточными напряжениями). Это особенно важно при его эксплуатации в условиях наличия знакопеременных нагрузок, имеющих место при прецизионной штамповке выводных рамок.

При алмазном шлифовании твердосплавной технологической оснастки под действием силовых и температурных нагрузок возникают структурные изменения поверхностного слоя, которые значительно влияют на эксплуатационные свойства изготовленных изделий. На формирование поверхностного слоя существенное влияние оказывает состав используемых при обработке технологических жидкостей [1 – 3]. В работах выполненных в Институте синтетических материалов АН СССР [4, 5], исследовалось влияние алмазного шлифования твердых сплавов (в сравнении с абразивными) на изменение фазового состава поверхностного слоя обработанных деталей и на возникающие в нем микронапряжения. Однако влияние составов СОЖ, используемых при алмазном шлифовании твердых сплавов, на структурные изменения их поверхностного слоя изучено еще недостаточно, поэтому эта проблема является актуальной.

Для проверки влияния нового состава СОЖ ДИИ-5 на работоспособность обработанной с ее помощью твердосплавной технологической оснастки были проведены эксперименты по совместному алмазному шлифованию рабочих элементов вырубных штампов, состоящих из твердого сплава и стали. Эксперименты проводились на станке модели 3Б70В с помощью алмазного круга АСР 100/80 Б1-100. Шлифование осуществлялось периферией круга методом работы «НАПРОХОД». Шлифовались сварные (с помощью диффузионной сварки) пуансоны вырубных штампов, изготовленных из твердого сплава ВК20 и стали Х12М. Соотношение площади твердого сплава и стали 1:4. СОЖ подавалась в зону обработки поливом. В качестве смазочно-охлаждающих жидкостей использовались СОЖ ДИИ-5 для совместного алмазного шлифования

твердых сплавов и стали и для сравнения – базовая жидкость на основе 5%-ного раствора стандартного эмульсола ЭТ-2, широко применяемого на предприятиях страны на данной операции. Обработка велась при постоянном режиме шлифования (поперечная подача стола – 0,8 мм/ход, продольная подача – 0,24 м/с, скорость вращения алмазного круга – 35,4 м/с), варьировалась только глубина резания в пределах от 0,01 до 0,05 мм. Чтобы выявить изменения фазового состава поверхностных слоев образцов из сплава ВК20, обработанных по различным режимам с применением 2-х составов СОЖ, использовалась методика качественного рентгенофазового анализа [6]. Съемка проводилась на дифрактометре УРС-50 ИМ в излучении железного анода в интервале углов $20 - 150^\circ$. Скорость движения счетчика составляла 1 град/мин (для сравнения при анализе в качестве эталона использовался образец сплава ВК20, отожженный в среде водорода в течение 1 ч при температуре 850°).

Анализ дифрактограмм показал, что фазовый состав всех исследованных образцов в пределах чувствительности метода идентичен фазовому составу эталонного образца. Напряжения 1-го рода (макронапряжения), возникающие в результате обработки в поверхностных слоях образцов сплава ВК20, определяли по смещению линий на дифрактограммах относительно положения линий ненапряженного (эталонного) образца, методика приготовления которого рассмотрена в работе [6]. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние режимов обработки и СОЖ на макронапряжения ($\sigma_1 + \sigma_2$) карбидной фазы

Макро- напряжение	Глубина резания, мм					
	0,01		0,03		0,05	
	СОЖ					
	ЭТ-2	ДИИ-5	ЭТ-2	ДИИ-5	ЭТ-2	ДИИ-5
($\sigma_1 + \sigma_2$) 10 МПа	- 44,9	-214,3	- 16,5	-65,9	-65,6	-33,0

Как видно из таблицы 1, в поверхностных слоях образцов карбидная фаза испытывает сжимающие напряжения, что благоприятно влияет на их сопротивление износу. Следует также отметить, что в образцах, обработанных с применением СОЖ ДИИ-5,

уровень сжимающих напряжений выше, чем при использовании СОЖ ЭТ-2. При глубине резания 0,05 мм и применении ЭТ-2 появляются неблагоприятные растягивающие напряжения.

Любая механическая обработка приводит к увеличению степени дефектности структуры поверхностных слоев, что отражается на ширине интерференционных линий. Чтобы оценить влияние глубины резания и различных СОЖ определяли ширину линий (101) и (201) карбида вольфрама и линий (111) кобальта.

Анализ изменения ширины линий и эволюции тонкой структуры проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 и монохроматизированном (LiF – монохроматор) излучении медного анода. Ширина линий рассчитывалась как частное от деления интегральной интенсивности (площади под кривой, измеренной с помощью планиметра) на максимальную высоту. В результате проведенных вычислений было установлено, что в образцах, обработанных с применением СОЖ ДИИ-5, ширина линий несколько выше, чем в образцах, обработанных с применением СОЖ ЭТ-2.

Известно, что уширение линий обусловлено, в основном, двумя факторами: дроблением блоков мозаики D и возрастанием уровня микронапряжений $[(\Delta\alpha/\alpha) \cdot (E/\mu)]$. Для разделения вклада, вносимого в уширение линий использовался метод аппроксимации. Расчеты выполнялись по линиям (101) и (201) карбида вольфрама. Данные отражения были выбраны таким образом, чтобы не было взаимного наложения линий WC и кобальтовой связки, а также при условии достаточной для анализа интенсивности. Использование отражений, не являющихся двумя порядками, оправдано авторами работы [5].

Полученные результаты относятся к слою толщиной 10 мкм (слою десятикратного ослабления). Толщина слоя определялась по методике, описанной в работах [9,10].

Расчеты выполнялись по методике из работы [7], результаты их приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние СОЖ на параметры тонкой структуры карбидной фазы
сплава ВК20, обработанного совместно со сталью

Параметры тонкой структуры	Режим обработки t, мм									
	0,01		0,02		0,03		0,04		0,05	
	СОЖ									
	ЭТ -2	ДИИ -5	ЭТ -2	ДИИ -5	ЭТ -2	ДИИ -5	ЭТ- 2	ДИИ -5	ЭТ- 2	ДИИ -5
D, Нм	23	127	19	110	14	96	105	85	80	66
$\frac{\Delta a}{a} \cdot \frac{E}{\mu}$, МПа	3 6,5	10,5	5 7,6	11,8	4 9,0	13,3	11, 3	14,5	13, 6	15,8

Выводы. В результате проведенных исследований было установлено, что:

1. Алмазное шлифование образцов из твердого сплава ВК20 с использованием СОЖ ДИИ-5 приводит к дроблению блоков мозаики и появлению в поверхностных слоях заметных микронапряжений, причем во всех случаях обработка с применением СОЖ ДИИ-5 по сравнению с ЭТ-2 вызывает более существенные измельчения блоков мозаики (в среднем на 30,7%) и повышению уровня микронапряжений (в среднем на 41,7%). Такие изменения структуры способствуют созданию более эффективных барьеров для перемещения.

2. Полученные экспериментальные данные коррелируют с производственными испытаниями обеих составов СОЖ. Установлено, что применение СОЖ ДИИ-5 при алмазном шлифовании твердых сплавов создает благоприятные условия для формирования деталей с повышенными эксплуатационно-технологическими свойствами. Так, использование СОЖ ДИИ-5 на промышленном предприятии, подтвержденное актом внедрения, обеспечило повышение стойкости изготовленных твердосплавных вырубных прецизионных штампов в два раза, соответственно увеличило объем выпускаемой продукции при штамповке на 155% и снизило себестоимость ее изготовления в 1,8 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / Под ред. М.И.Клушина. – М.: Машиностроение, 1979. – 192с.
2. А.с 946258 СССР, МКИ С10М 3/26. Смазочно-охлаждающая жидкость ДИИ-5 для алмазного шлифования твердых сплавов и стали / Ю.М.Ревенко и др. (СССР) – 1982. – Д.С.П.
3. Ревенко Ю.М. Новая смазочно-охлаждающая жидкость для алмазного шлифования керамики. – Запорожье: 1981 – 3с. – (Информ.листок / ЦНТИ: №81-22).
4. Созин Ю.И. Рентгенографические исследования поверхности твердых сплавов после алмазной обработки / Синтетические алмазы. – К.: 1969. – Вып.2 – С. 3-8.
5. Шульман П.А., Созин Ю.И. Качество поверхности, обработанной алмазами. – К.: Техника, 1972. – 147 с.
6. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазный анализ. – М.: Изд-во МГУ, 1976 – 232с.
7. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – Металлургия, 1970. – 260 с.
8. Фукс М.Я., Беззубенко Н.К., Свердлова Б.М. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и эльборовоой обработки. – К.: Вища школа, 1979. – 160 с.
9. Русаков А.А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 420 с.
10. Британ И.М., Ровинский Б.И., Силайский В.М. Оценка толщины эффективнорассеивающего слоя // Аппаратура и методы рентгенографического анализа. – Л.: 1971. – Вып. 7 – С.52.
11. Поляков З.И., Вшивцов А.В. К расчету производительности ультразвукового резания. – Научные основы автоматизации производительных процессов в машиностроении и приборостроении: материалы 4-й Всесоюзной конференции. – М., 1974, с.30-35.
12. Пономарев С.Д. расчеты на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз, 1958, Т.2. – 974 с.
13. Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы. – М.: Машгиз, 1959 – 259 с.

УДК 519.86:681.51

М.А. Поляков

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРИРОВАННОЙ КОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Рассматриваются особенности программируемых контроллеров как элементов интегрированных систем управления. Описаны множества типовых элементов контроллера на уровнях сопряжения с объектом управления, управления аппаратными средствами, системными, типовыми операциями, операциями пользователя, управления состояниями и адаптацией. Предложена теоретико-множественная модель интегрированной контроллерной системы управления.

Введение

Под программируемым контроллером будем понимать вычислительное устройство, ориентированное на управление оборудованием или (и) процессом, а под контроллерной системой управления (КСУ) – систему, в которой, по крайней мере, часть элементов, исполняющих алгоритм управления, являются программируемыми контроллерами [1]. Широкие функциональные возможности программируемых контроллеров позволяют реализовывать в одном таком элементе несколько функций одной или нескольких систем управления. Например, функции управления, как объектом, так и управляющим устройством (подсистемой) системы управления. Такие КСУ будем называть интегрированными.

Проектирование КСУ - сложный процесс, в котором используются различные формальные модели объекта управления (ОУ), управляющей подсистемы и, даже, самого процесса проектирования [2-9], в том числе теоретико-множественные модели, такие как модель агрегативной системы Н.П. Бусленко [2], непрерывно-дискретной системы В.М. Глушкова [3,9], гибридной системы Д. Харела, А. Пнуэли [4,5]. Вместе с тем, известные модели не в полной мере учитывают функциональные возможности и особенности программируемого контроллера, как элемента интегрированной системы управления. В результате чего снижается качество спроектированной КСУ в части обеспечения таких

© Поляков М.А., 2009

характеристик как адаптивность, возможность модернизации алгоритмов управления, универсальность компонентов программного обеспечения и др.

В настоящей статье сделана попытка описания на теоретико-множественном уровне поведения КСУ, как системы взаимодействующих автоматов.

Уровни управления программируемого контроллера

В программируемом контроллере, как элементе КСУ, в процессе решения задачи пользователя по управлению объектом используется комплекс программных и аппаратных средств, множество моделей, которые целесообразно разбить на функциональные уровни, как показано в таблице.

Таблица 1

Уровни управления контроллера

Уровень	Элементы	Информационные массивы	Местоположение
Управление адаптацией	Продукционная система	База знаний приложения, целевая функция	Память пользователя
Управление состояниями	Управляющие автоматы (УА)	Таблицы выходов и переходов УА	
Управление комплексными операциями	Входные, выходные, операционные автоматы (ОА)	Файлы (структуры) данных, файлы форсировки, файлы параметров ОА	
Управление типовыми операциями	Инструкции языка программирования	Структуры управления инструкций	
Управление системными операциями	Операционная система (ОС) контроллера	Файл статуса (системных переменных) контроллера	
		Системные переменные ОС	Системная память контроллера
Управление аппаратными средствами	Процессор, входные, выходные, сетевые модули, блок питания, операторский интерфейс	Системные регистры устройств (регистры данных, состояния, конфигурации)	Элементы электронной схемы
Сопряжение с объектом управления	Датчики, исполнительные механизмы	Электрические сигналы	Объект заказчика
Объект управления	Агрегат, физический, технический процесс	Параметры	

Уровни сопряжения с ОУ и управления аппаратными средствами описаны в [1]. Важным уровнем управления является управление системными операциями контроллера. Это управление осуществляется ОС контроллера со свойствами ОС реального времени и реализацией отдельных команд в виде программных автоматов. ОС выполняет: загрузку, удаление, управление режимами программных автоматов приложения пользователя; сохранение/восстановление состояния приложения пользователя при сбое/включении электропитания контроллера; управление программным сканом, включая обмен информацией между аппаратными средствами и памятью пользователя, управление многозадачностью и прерываниями, обмен по сетям и диагностику работоспособности аппаратных средств контроллера. Вышестоящие уровни управления наблюдают (модифицируют) состояние ОС и аппаратных средств контроллера путем чтения (записи) системных переменных ОС и переменных состояния аппаратных средств из (в) статусного файла контроллера. Остальные элементы ОС не доступны для пользователя, хотя некоторые контроллеры позволяют обновлять ОС.

Большинство инструкций языков программирования контроллеров имеют довольно сложный алгоритм выполнения, с внутренними состояниями, которые отображаются через элементы структур управления. С этой точки зрения их можно рассматривать как автоматы типовых операций пользователя и объединить в отдельный уровень управления. Множество автоматов типовых операций используется при построении ОА и УА вышестоящих уровней управления.

На уровне управления комплексными операциями выделим множество входных и выходных ОА. Входные ОА выполняют операции над входными переменными различных типов, которые поступают с выходов входных модулей, выходов других ОА или из памяти процессора. Типовые задачи, решаемые входными ОА, это вычисление логических функций; вычисление предикатов; подсчет событий; вычисление функций с использованием арифметических операций, тригонометрических и других функций; обработка базы данных (поиск, фильтрация, сортировка); распаковка, преобразование кодов и величин, контроль, распознавание, статистическая обработка данных, определение приоритетов и др. Результаты работы ОА в виде

условий перехода поступают на входы управляющего автомата и (или) в виде данных поступают на входы других ОА.

Выходные ОА формируют значения выходных переменных контроллера. Будем различать управляемые и неуправляемые выходные ОА. Управляемые выходные ОА активизируются выходным сигналом управляющего автомата УА, а неуправляемые – выходными сигналами входных ОА. В частном случае, если требуется постоянная активность ОА, то они могут вообще не иметь входов.

Типовые выходные ОА это: генераторы и формирователи стимулирующих воздействий на ОУ; квалификаторы шагов УА; регуляторы параметров ОУ; синтезаторы структур и массивов данных.

Уровень управления состояниями системы управления представлен в структуре управления множеством УА. Каждый УА, как правило, управляет состояниями отдельной задачи, программы, процедуры, то есть автоматы используются параллельно. При изменении вектора входов X , поступающего от ОА, УА переходит в новое состояние. При этом на выходах УА формируется вектор выходов Y , который управляет активностью выходных ОА.

УА может быть построен как автомат Мили или как автомат Мура. Автомат Мура связывает отдельное состояние с вектором выходов, т.е. в конечном итоге с действиями, которые выполняют выходные ОА, активизированные в этом состоянии УА. Состояние автомата Мили задает правило выбора вектора выхода и новое состояние автомата для каждого из возможных в данном состоянии автомата Мили векторов входов.

Алгоритмы обработки данных и управления состояниями могут быть изменены во время эксплуатации КСУ путем перепрограммирования или адаптации. В ходе адаптации в КСУ накапливаются и оцениваются результаты управления, формируется прогноз изменения контролируемых и неконтролируемых параметров ОУ. На основании этих данных изменяются информационные массивы, представляющие структуру УА и параметры ОА, системные переменные контроллера, коммутируются информационные потоки на входах и выходах этих автоматов, то есть изменяется структура устройства управления объектом.

Управление адаптацией можно выделить в отдельный уровень управления, который использует инструментарий систем искусственного интеллекта. Эти инструменты требуют значительных ресурсов процессора, и поэтому уровень адаптации может быть реализован во внешнем по отношению к контроллеру приложении, например, в виде модели в среде приложения MATLAB, которая обменивается данными с контроллером через функции DDE.

Можно предположить, что по мере совершенствования аппаратного и программного обеспечения программируемых контроллеров, появятся новые уровни, например уровень самоорганизации и др. Известны системы управления роботами с подсистемами инстинктов и чувств.

В распределенных КСУ задачи управления выполняются параллельно в некотором множестве вычислительных устройств (контроллеры, интеллектуальные информационно-управляющие устройства, персональные компьютеры) и (или) программных приложений пользователя в среде таких программных пакетов как ОС контроллера, электронные таблицы, СУБД, пакетов для математических вычислений, моделирования, визуализации и др. В модели элемента распределенной КСУ выделяется множества параметров, событий, состояний и знаний, которые влияют на поведение других элементов КСУ. Эта информация в виде множества сообщений передается по каналам связи элементов в системе управления [7]. Кроме, определенных выше для каждого уровня управления множеств элементов, в состав теоретико-множественной модели программируемого контроллера входят отображения этих множеств. Например, отображения множества выходов ОУ на множество каналов входных модулей, множества состояний и входов УА на множество его выходов и др. Предполагается рассмотреть свойства и характеристики этих отображений в последующих работах.

Интегрированные иерархические системы управления

Для описания интегрированности и иерархичности КСУ используем, введенное Глушковым В. М. представление системы управления (СУ) как совокупности ОУ и управляющего устройства (УУ), причем УУ подразделялся на УА и ОА [9]. Предположим, что на каждом уровне иерархической системы содержится по одной СУ.

Тогда для СУ i -го уровня ($i \geq 2$) ($СУ_i$) $ОУ_i$ будет $УУ(i-1)$. Для СУ первого уровня $ОУ$ будет реальный объект (агрегат, процесс), а не $УУ$. В свою очередь, $УУ_i$ будет являться $ОУ(i+1)$ для $СУ(i+1)$. Объект управления $ОУ$ i -го уровня может иметь входы и выходы ($ВС_i$), через которые он взаимодействует с внешней средой. Такую СУ назовем нормализованной ленточной интегрированной (НЛИ) СУ. Взаимосвязи уровней в НЛИ СУ приведены на рис.1.

То есть, НЛИ СУ имеет по одной СУ на каждом иерархическом уровне и связи по управлению только с соседними уровнями в иерархической структуре управления, ненормализованная СУ – связи по управлению с другими (не соседними) уровнями. Не ленточную (пирамидальную, клеточную) СУ определим как систему, содержащую более одной СУ хотя бы на одной из уровней.

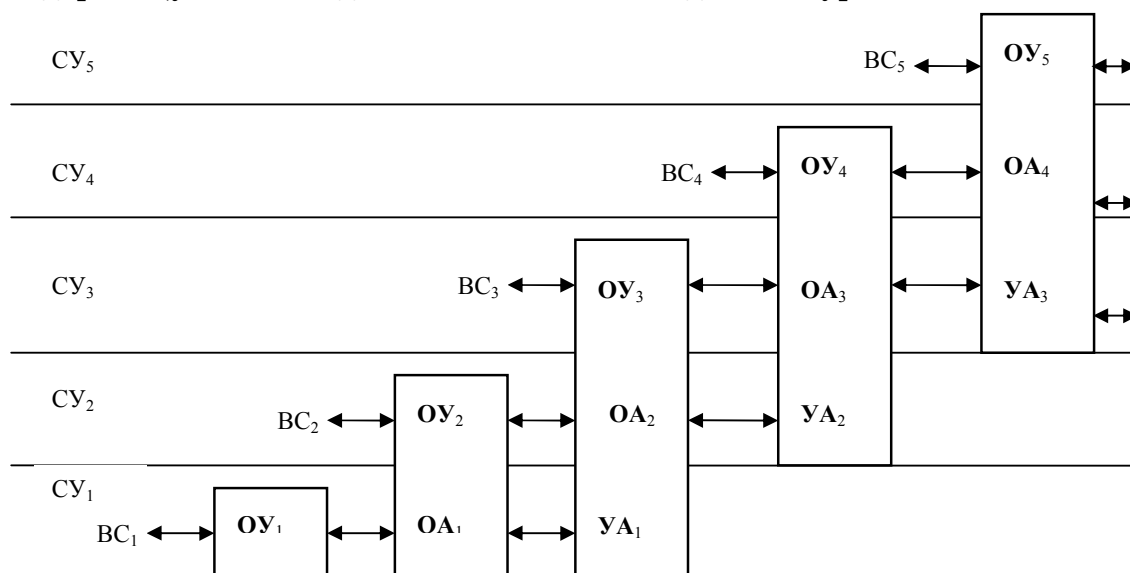


Рисунок 1 - Взаимосвязи уровней управления в нормализованной ленточной интегрированной СУ

На рис.2 приведен пример трехуровневой НЛИ СУ, которая включает СУ объектом ($СУО$), структурой ($СУС$) и функциями ($СУФ$) управления. Основные элементы систем этих систем это $ОУ$, устройство управления объектом ($УУО$), устройство управления структурой ($УУС$) и устройство управления функциями ($УУФ$). $ОУ$ и $УУО$ обмениваются значениями переменных объекта и управляющих воздействий. $УУО$ и $УУС$ - значениями переменных структуры и параметров управления. $УУС$ и $УУФ$ - значениями переменных функций управления.

Влияние внешней среды учитывается в модели КСУ возмущающими факторами ОУ (ВФО), УУО (ВФУ) и УУС (ВФС). Примерами ВФО являются параметры окружающей среды, нагрузки объекта, ВФУ - отказы электропитания, ВФС - отказы устройств и каналов связи. Внешняя среда может также формировать цели функционирования КСУ и являться источником знаний о себе и КСУ.

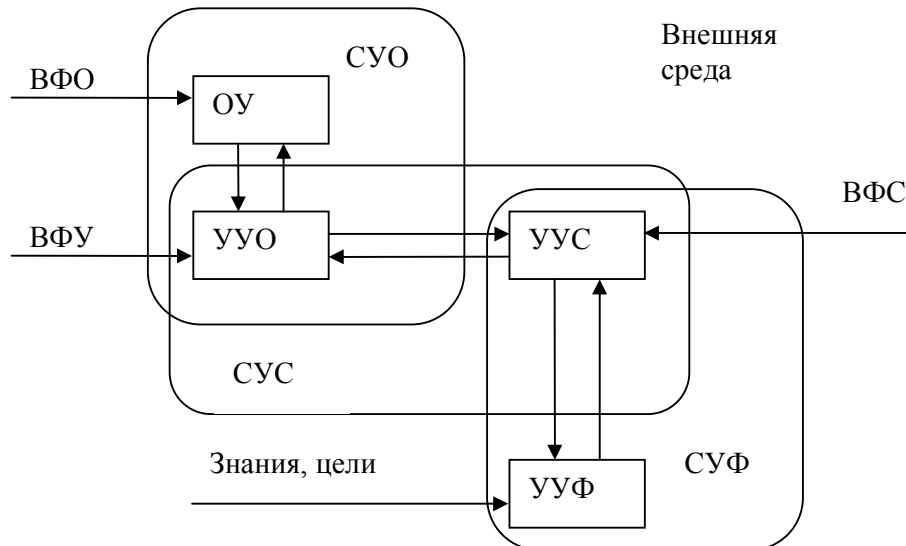


Рисунок 2 - Структура трехуровневой интегрированной КСУ

Заключение

Таким образом, программируемый контроллер, как элемент КСУ может быть представлен множествами элементов уровней сопряжения с ОУ, управления аппаратными средствами, системными, типовыми и пользовательскими операциями, управления состояниями и адаптацией. Взаимосвязи и поведение этих элементов описывается множеством отображений. Преобладающая часть элементов уровней управления контроллера реализованы как программные автоматы. В дальнейшем предполагается рассмотреть паттерны программирования типовых элементов уровней управления контроллера на языках программирования по стандарту IEC 61131-3. Уровни управления контроллера и структура интегрированной КСУ могут быть предметом стандартизации по аналогии со стандартами ISO в области взаимодействия открытых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parr E.A. Programmable Controllers. An engineer's guide. Third edition. Oxford: Newness, 2003, 429 p.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: «Наука», 1978.
3. Программное обеспечение моделирования непрерывно-дискретных систем./Под ред. В.М. Глушкова. М.: «Наука», 1975.
4. Harel D. Statecharts: a Visual Formalism for Complex Systems. Sci. Comput. prog.8, p.231-274, 1987.
5. Парийская Е.Ю. Сравнительный анализ математических моделей и подходов к моделированию и анализу непрерывно-дискретных систем Дифференциальные уравнения и процессы управления №1, 1997. Электронный журнал. <http://www.neva.ru>., с.92-120.
6. Шалыто А.А. Методы аппаратной и программной реализацией алгоритмов. – СПб.: Наука, 2000. – 780с.
7. Гома Х. UML проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений. – М.: ДМК, 2002 – 704с
8. Карпов Ю.Г. Теория автоматов. СПб.: Питер, 2002.-224 с.: ил.
9. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М., Физматиздат, 1962. 476с.

УДК 669.01:530.1:539.4

Ю.О. Водолазкий, О.І. Михальов, М.І. Гасик

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ
МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИХ СПЕКТРІВ ДЛЯ БІНАРНИХ
ЗОБРАЖЕНЬ**

Анотація. Робота присвячена оцінюванню похибок методу обчислення мультифрактальних спектрів. Тестується реалізація методу на регулярних фракталах. Досліджується чутливість методу до деяких геометричних перетворень.

Ключові слова. Фрактальна геометрія, мультифрактал, розмірності Рен'ї, похибка, тестування.

Вступ

Останнім часом для дослідження властивостей матеріалів все частіше застосовуються засоби фрактальної геометрії [2-6]. Її апарат дозволяє одержати набір кількісних характеристик, що описують неоднорідну структуру реальних матеріалів, за допомогою оцінювання зображень поверхонь. Серед таких характеристик часто використовуються мультифрактальні розмірності, метод розрахунку яких надається в багатьох роботах, наприклад [1, 4, 5]. Цей метод реалізований авторами у вигляді програмного забезпечення MFMet, що з успіхом застосовується для дослідження різних матеріалів [5, 6]. У даній роботі розглянуті питання щодо точності методу обчислення мультифрактальних спектрів і проведено тестування працездатності програмної реалізації.

Постановка задачі

Оцінити похибки методу обчислення мультифрактальних спектрів.

Перевірити точність обчислення фрактальної розмірності на регулярних фракталах з відомою фрактальною розмірністю.

Дослідити чутливість методу до геометричних перетворень.

Метод розрахунку мультифрактальних спектрів

Ідея методу описувалася в роботах [1, 4, 5]. Коротко викладемо його суть для наочності обчислення похибок. Множину, що досліджується, необхідно виміряти на різних масштабах (рис. 1.а).

Практично це реалізовано за допомогою серії розбивок на квадратні осередки з різною стороною ε . Для кожної розбивки обчислюється міра (заселеність) кожного осередку $p_i(\varepsilon)$ (1) і узагальнена міра $Z(\varepsilon)$ (2) усієї множини. Далі досліджується залежність узагальненої міри від масштабу виміру ε (рис. 1.б).

$$p_i(\varepsilon) = \frac{n_i(\varepsilon)}{N}, \quad (1)$$

де $n_i(\varepsilon)$ - кількість елементів множини (пікселів) у даному осередку, N - загальна кількість елементів множини.

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q(\varepsilon), \quad \forall q \in [q_{\min}; q_{\max}], \quad (2)$$

де $N(\varepsilon)$ - кількість осередків при їхньому розмірі ε , q - показник ступеня.

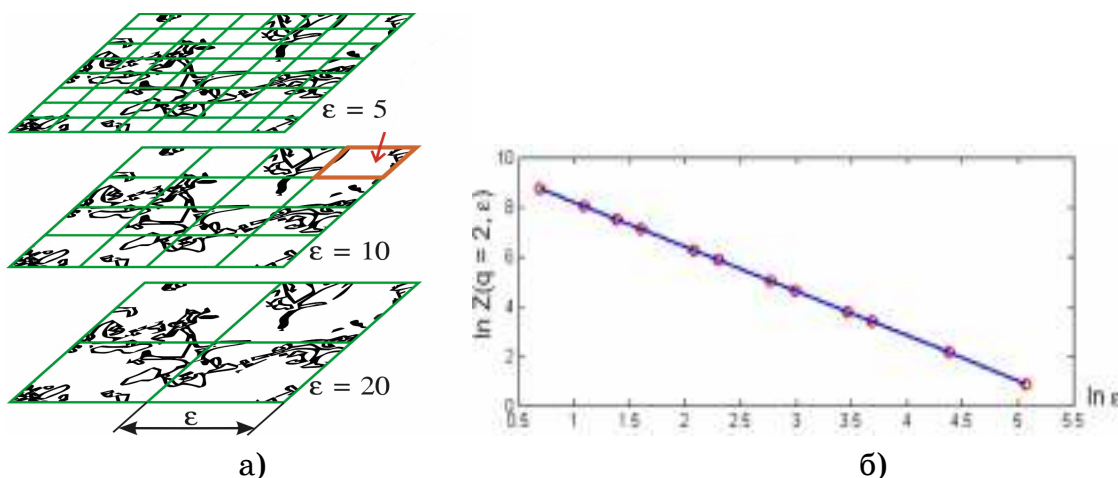


Рисунок 1 – Ілюстрації до розрахунку мультифрактальних розмірностей; а) вимір об'єкта на різних масштабах, б) залежність міри зображення від масштабу виміру

Наявність ступеневої залежності $Z \sim \varepsilon^{-D}$ із дробовим значенням D говорить про фрактальні властивості об'єкту, що досліджується. Для дослідження мультифрактальних властивостей об'єкту міра розраховується з додатковим ступеневим параметром q , що може приймати значення в інтервалі $-\infty < q < +\infty$. Те або інше значення показника ступеня q визначає переважний внесок в узагальнену міру $Z(q, \varepsilon)$ осередків із приблизно однаковою мірою $p_i(\varepsilon)$. Для кожного значення q досліджується залежність міри $Z(q, \varepsilon)$ від масштабу виміру ε (практично, вимірюється нахил прямої, що апроксимує

залежність $\ln \varepsilon \sim \ln Z(q, \varepsilon)$ (рис. 1.6)). У результаті спектр розмірностей Рен'ї $D(q)$ визначається як:

$$D(q) = \frac{1}{q-1} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln Z(q, \varepsilon)}{\ln \varepsilon} \quad (3)$$

Оцінка похибок обчислень

Похибки непрямих вимірів розмірностей Рен'ї будемо розраховувати за схемою $\Delta y \approx f'(x)\Delta x$, де Δx - абсолютна помилка безпосереднього виміру. Безпосередньо вимірюваними величинами будемо вважати множину мір осередків $\{p_i\}$, тому що міра осередку p_i визначається вихідною структурою зображення і є безпосереднім виміром вихідної об'єкта, що досліджується. Таким чином, для абсолютної похибки узагальненої міри Z , виходячи зі співвідношення (2), маємо:

$$\Delta Z = \sum_i \frac{\partial Z}{\partial p_i} \Delta p_i = \sum_i q p_i^{q-1} \Delta p_i = q \sum_i p_i^q \delta p_i, \quad (4)$$

де Δp_i та δp_i - абсолютна та відносна відповідно похибки міри i -го осередку.

Тоді для відносної похибки узагальненої міри δZ маємо:

$$\delta Z = \frac{\Delta Z}{Z} = \frac{q \sum_i p_i^q \delta p_i}{\sum_i p_i^q} = q \sum_i \delta p_i. \quad (5)$$

Далі одержуємо вираз для похибки складових спектру розмірностей Рен'ї:

$$\Delta D = \Delta \ln Z = (\ln Z)' \Delta Z = \frac{\Delta Z}{Z} = \delta Z = q \sum_i \delta p_i, \quad (6)$$

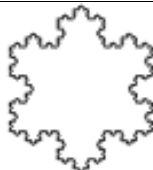
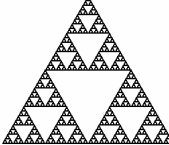
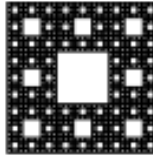
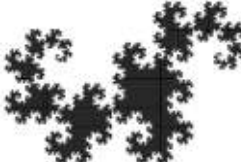
яке визначається похибкою вихідної міри осередків δp_i .

Тестування методу на регулярних фракталах

Класичні регулярні фрактали мають властивість ідеальної самоподібності і їх фрактальну розмірність можливо розрахувати аналітично, тому вони є ідеальними для перевірки працездатності методу. Фрактали, на яких проводилося тестування програмної реалізації методу, наведені в таблиці 1. Як й очікувалося, мультифрактальні розмірності для кожного зображення приймали одне й те саме значення, яке з невеликою похибкою наближалось до теоретичного.

Таблиця 1

Обчислення фрактальної розмірності регулярних фракталів

Фрактал		Фрактальна розмірність		
Назва	Зображення	Істинне значення	Оцінка	Похибка, %
Сніжинка Коха		1,262	1,225	2,9
Трикутник Серпінського		1,585	1,501	5,2
Серветка Серпінського		1,893	1,837	2,9
Дракон Хартера-Хейтуея		2	1,987	0,7

Дослідження чутливості методу до геометричних перетворень зображення

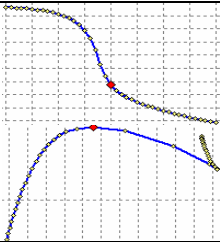
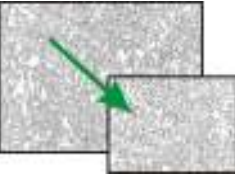
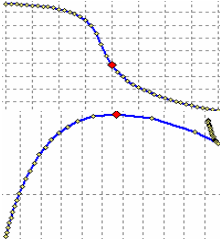
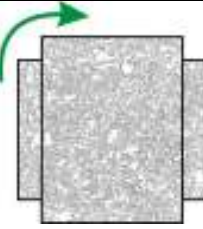
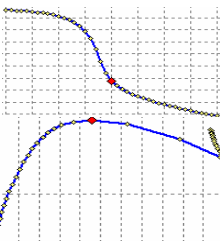
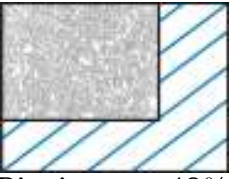
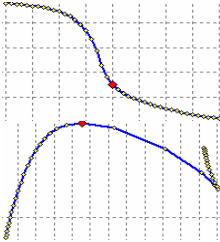
Виконано дослідження чутливості методу до основних геометричних перетворень: зменшенню, повороту, дзеркальному відбиттю, вирізанню частини зображення (див. таблицю 2). Для дослідження було обране зображення поверхні мікрошліфа колісної сталі розміром 640 на 480 пікселів.

Для всіх видів перетворень найбільші похибки спостерігаються для значень мультифрактального спектру при великих (по модулю) показниках ступеня q (хвості спектру). Найкращий збіг розрахункових значень із оригіналом дають зображення після таких перетворень як поворот на 90° і дзеркальне відбиття, тому що ці перетворення не змінюють структуру вихідного зображення.

Мультифрактальні характеристики, розраховані для частини зображення-оригіналу ($\sim 50\%$ площі) досить добре збігаються зі значеннями для вихідного зображення, при дослідженні об'єктів, що мають ознаки самоподібності (теоретичні фрактали, поверхні сталей).

Таблиця 2

Обчислення мультифрактальних параметрів для зображення, після геометричних перетворень

Вид перетворення	Спектри (Рен'ї, мультифрактальний)	Значення вибірових розмірностей	Абсолютне відхилення від вихідного зображення
 Вихідне зображення		$D_0 = 1,904$ $D_1 = 1,883$ $D_2 = 1,868$ $D_1 - D_{20} = 0,123$ $f_{20} = 0,449$	
 Зменшення в 1,64 рази		$D_0 = 1,904$ $D_1 = 1,878$ $D_2 = 1,858$ $D_1 - D_{20} = 0,152$ $f_{20} = 0,471$	$\Delta_{D_0} < 0,001$ $\Delta_{D_1} = 0,005$ $\Delta_{D_2} = 0,01$ $\Delta_{D_1 - D_{20}} = 0,029$ $\Delta_{f_{20}} = 0,022$
 Поворот на 90°		$D_0 = 1,904$ $D_1 = 1,883$ $D_2 = 1,868$ $D_1 - D_{20} = 0,124$ $f_{20} = 0,398$	$\Delta_{D_0} < 0,001$ $\Delta_{D_1} < 0,001$ $\Delta_{D_2} < 0,001$ $\Delta_{D_1 - D_{20}} = 0,001$ $\Delta_{f_{20}} = 0,051$
 Відсікання 48% площі		$D_0 = 1,904$ $D_1 = 1,884$ $D_2 = 1,868$ $D_1 - D_{20} = 0,119$ $f_{20} = 0,701$	$\Delta_{D_0} < 0,001$ $\Delta_{D_1} = 0,001$ $\Delta_{D_2} < 0,001$ $\Delta_{D_1 - D_{20}} = 0,004$ $\Delta_{f_{20}} = 0,252$

Зменшення зображення й поворот на довільний кут (не кратний 90°) вносить найбільші помилки в структуру зображення, тому що значення пікселів при цих перетвореннях інтерполюються, і фактично ми маємо нове зображення на основі старого. Як наслідок фрактальні параметри мають найбільше відхилення від значень для вихідного зображення.

Як бачимо, зазначені види перетворень достатні, а в більшості випадків надлишкові для реальних завдань.

Висновки

У роботі отримані аналітичні вираження похибок обчислень спектру розмірностей Рен'ї, що дозволяє контролювати точність обчислень. Тестування реалізації методу обчислення мультифрактальних спектрів на регулярних фракталах дало результати, що узгоджуються з теорією. Було виявлено стійкість методу до основних геометричних перетворень, що дає можливість його коректного застосування для зображень матеріалів, що отримані у різних умовах цифрової фотозйомки. Таким чином, дослідження точності методу розрахунку мультифрактальних спектрів обґрунтовує його застосування при вирішенні реальних задач кількісного опису матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Harte D. Multifractals: theory and applications. – Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC, 2001.
2. Иванова В.С. Синергетика: Прочность и разрушение металлических материалов / М.: Наука, 1992, 160 с.
3. Помулев В.В. Разработка моделей фрактальных структур металлических материалов: дисс. канд. техн. наук: 01.05.02 / Помулев Валерий Валериевич. – Днепропетровск, 2005.
4. Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Бунин И.Ж. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. Монография. – М.: Ижевск, 2003.
5. Оценка параметров мультифрактальных моделей металлографических изображений / Михалев А.И., Деревянко А.И., Водолазский Ю.А., Помулев В.В. – Современные проблемы металлургии. – Том 7, 2004. – С. 140-148.
6. Михалев А.И., Водолазский Ю.А. Мультифрактальный анализ в задачах оценивания качества медных покрытий // Нові Технології. – 2(12). – Кременчук: КУЕІТУ, 2006. – С. 184-188.
7. Михальов О.І., Водолазський Ю.О. Вейвлет-мультифрактальний аналіз складних зображень // Вісник ВПІ. – Випуск 2. – Вінниця, 2009. – С. 84-87.

УДК-669.01: 530.1: 539.4

А.А. Кавац, А.И Деревянко, А.И Гуда, М.И. Гасик
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ**

Аннотация. Работа посвящена моделированию процесса кристаллизации металлических сплавов. Исследуется процесс зарождения и роста кристаллов в металлических сплавах.

Ключевые слова: кристаллы, центры кристаллизации, броуновское движение, процесса кристаллизации металлических сплавов.

Введение. Важность моделирования процесса кристаллизации металлов определяется тем, что процесс, структурообразования зависит от роста кристаллов, а получающаяся в результате микроструктура оказывает значительное влияние на свойства литого металла. К процессу кристаллизации непосредственно примыкают процессы развития дендритной и химической неоднородности, возникновение усадочных и газовых пустот, участков неметаллических включений в значительной мере определяющих качество слитка.

Постановка и решение задачи. Работа посвящена исследованию процесса кристаллизации металлических сплавов. Кристаллизация представляет последовательность двух основных процессов. Первый процесс - это зарождение мельчайших кристаллов, зародышей – центров кристаллизации. Второй процесс состоит в росте кристаллов из этих центров.

Процесс образования кристаллов, связанный с появлением центров кристаллизации и их ростом, изучается с применением математической моделей. Схема кристаллизации представлена на рисунке 1. Предположим, что на единичной площади за секунду возникает несколько зародышей, которые растут с определенной скоростью. К концу первой секунды образовалось пять зародышей, к концу второй секунды они выросли, и одновременно с этим возникло еще несколько новых зародышей будущих кристаллов.

Так, в результате возникновения зародышей и их роста происходит процесс кристаллизации, который закончится на седьмой секунде согласно результатам эксперимента.

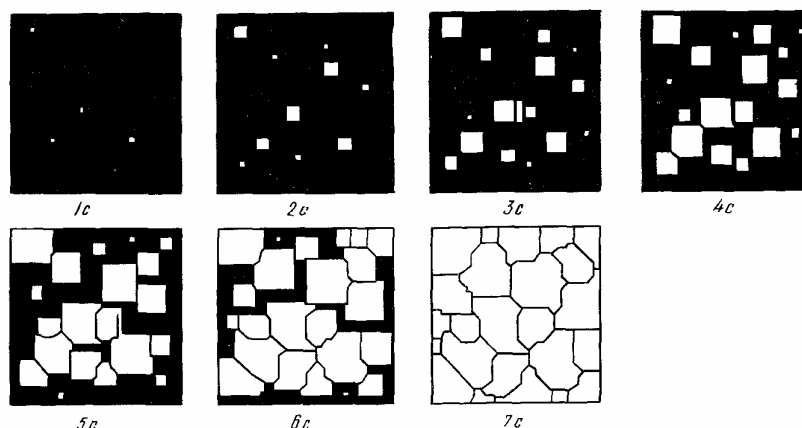


Рисунок 1 – Схема процесса кристаллизации металлических сплавов

Рассмотрение модели процесса кристаллизации позволяет объяснить два важных момента:

По мере протекания процесса кристаллизации увеличивается количество кристаллов. Поэтому процесс вначале ускоряется, пока в определенный момент взаимное столкновение растущих кристаллов начинает препятствовать их росту: рост кристаллов замедляется, тем более что и жидкость, в которой образуются новые кристаллы, становится все меньше.

В процессе кристаллизации, пока кристалл окружен расплавом жидкого состояния, он имеет правильную форму кристаллической решетки, но при столкновении и срастании кристаллов их правильная форма нарушается, внешняя граница формы кристалла оказывает зависимость от условий соприкосновения растущих кристаллов.

Экспериментальные данные является подтверждением адекватности системы моделирующей процесс кристаллизации металлического сплава.

Моделирование движения частицы правильной геометрической формы, основано на уравнение движение:

$$m\ddot{x} + c_0\dot{x} = F, \quad (1)$$

где x - координаты центров кристаллизации зародышей, F - сумма всех сил действующих на частицу, c_0 - коэффициент сопротивления – величина обратная подвижности B . Для тел близких по форме к сферической:

$$B = \frac{1}{6\pi\eta a} \quad (2)$$

где η - вязкость, a - характерный радиус частиц.

Для численного моделирования взаимодействия на основе уравнения (1) необходимо выбрать способы представления сил, действующих в системе (шаг моделирования выбираем τ).

При проведении большинства расчетов, величину τ выбираем таким образом, что бы τ была меньше времени изменения действующих сил.

Рассмотрим сумму сил F действующих на частицу. $F_g = -gm_{cr} = -\rho_{cr}gV_{cr}$ - сила тяжести (только по оси z), $F_a = \rho_e gV_{cr}$ - сила Архимеда, F_{br} - сила броуновского движения.

Из рассмотренных сил только F_{br} заметно меняется при временных характеристиках теплового движения. Характерное время изменения этой силы определяется временем столкновения молекул.

Так как движение частиц – это случайный процесс, и частица правильной геометрической формы находится в тепловом равновесии с окружающей средой, тогда на каждую поступательную степень свободы приходится энергия $\frac{k_b T}{2}$, т. е. $m\ddot{x}^2 = k_b T$.

Формула Эйнштейна позволяет определить средний квадрат смещения частицы за время t :

$$x^2(t) = 2k_b T B t, \quad (3)$$

С помощью выражения (3) можно моделировать смещение частицы под действием сил на интервалах обусловленных временем столкновения молекул, физически корректно моделировать среднее значение F_{br} на этих интервалах.

Из выражения (3) при $\bar{x}^2 = a_{cr}^2$ получаем:

$$t_a = \frac{a_{cr}^2}{2k_b B T} \quad (4)$$

Шаг моделирования по времени τ должен быть малым по сравнению с t_a , во избежании некорректного учета столкновения.

При выбранном времени постоянства сил τ_F при обычных подходах к моделированию системы (1) шаг моделирования τ должен удовлетворять условию $\tau \ll \tau_F$. Удовлетворение данного условия необходимы для учета переходных процессов при скачкообразно меняющейся силе. Оба условия имеют общую физическую причину и приводят к необходимости выбора малого значения $\tau \approx 10^{-12}$, что приводит к большим затратам вычислительных ресурсов.

Из аналитического решения (1) при $F = \text{const}$ известно, что после этапа начального разгона движение тела в вязкой среде становится практически равномерным. Определим это время.

В установившемся режиме:

$$\dot{\nu} = 0; \nu_{\infty} = \frac{F}{c_0} = FB, \quad (5)$$

Тогда решение (1) имеет следующий вид:

$$\nu = \nu_{\infty} \left(1 - \exp \left(-\frac{t}{t_v} \right) \right), \quad (6)$$

где $t_v = \frac{m}{c_0} = mB$.

При $t \gg t_v$ можно пренебречь начальным участком движения и считать его равномерным.

То есть, если для данной физической системы можно выбрать τ_F , таким что $t_v \ll \tau_F \ll t_a$, на интервале τ_F движение тела можно считать равномерным и прямолинейным, $\tau_F = \tau$, и смещение за этот интервал определяется следующим образом: $dx = F_{br}(t, \tau)B\tau$. Это приводит к сокращению времени расчета на несколько порядков.

Кристаллы,двигающиеся по закону броуновского движения в состоянии динамического равновесия подчиняется распределению скоростей Максвелла:

$$\varphi(\nu_x) = \left(\frac{m}{2\pi k_b T} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{m\nu_x^2}{2\pi k_b T} \right) = \frac{1}{\sqrt{\pi} \nu_m} \exp \left(-\frac{\nu_x^2}{\nu_m^2} \right) \quad (7)$$

$$v_m = \sqrt{\frac{2k_b T}{m}}, \quad v_{xs} = \sqrt{\frac{k_b T}{m}} = \sqrt{2v_m}.$$

Таким образом, моделирование движения частиц обусловлено с физической точки зрения. С помощью полученных данных становится возможным моделирование процесса кристаллизации металлических сплавов. На рисунке 2 приведены результаты работы программы Colcryst.

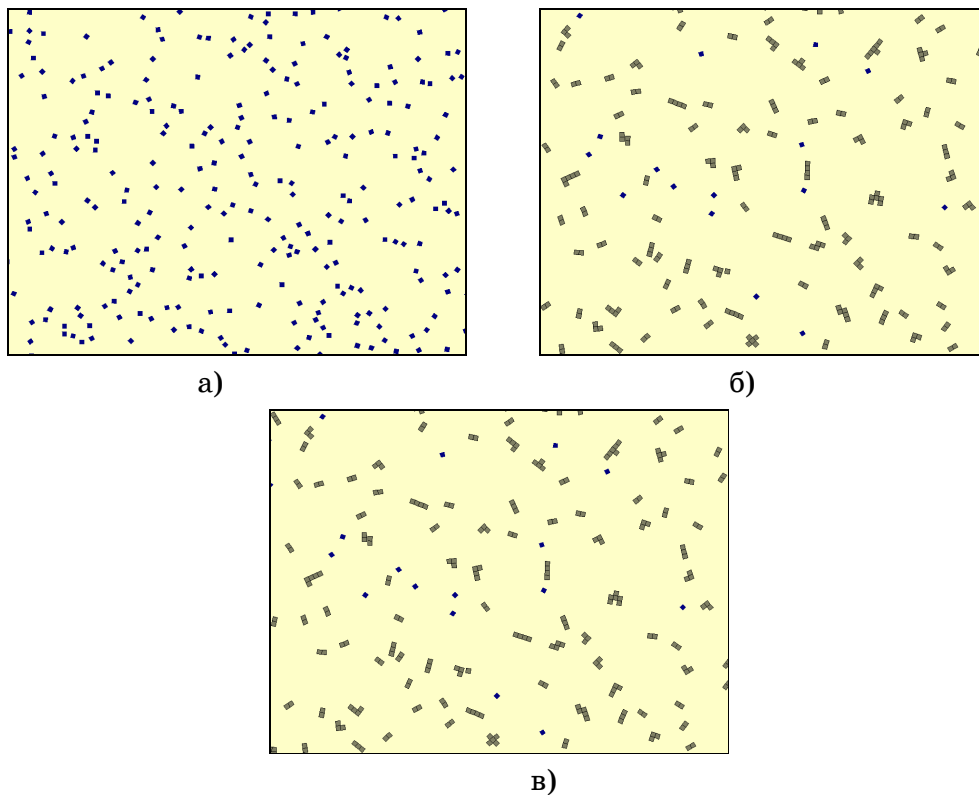


Рисунок 2 – Результаты моделирования процесса кристаллизации металлических сплавов

Выводы

В работе рассмотрен процесс кристаллизации микроструктуры металлических сплавов. Показано, что процесс кристаллизации состоит из двух основных этапов: зарождение мельчайших кристаллов и центров кристаллизации а также их рост.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев А. П. – Металловедение – М.: «Металлургия», 1986
2. Самойлович Ю.А. – Формирование слитка. – М.: «Металлургия», 1977
3. Самойлович Ю.А. – Системный анализ кристаллизации слитка. – Киев: «Наукова думка», 1983
4. Юм – Розери В. – Введение в физическое металловедение – М.: «Металлургия», 1965
5. Чалмерс Б. – Теория затвердевания. – М.: «Мир», 1958
6. Сивухин Д. В. – Общий курс физики: Термодинамика и молекулярная физика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.

УДК 622.788

О.Ю. Худяков, Д.А. Ковальов, М.В. Ягольник

ВПЛИВ ВМІСТУ БЕНТОНІТУ В СКЛАДІ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКОТИШІВ НА КІНЕТИКУ ЇХ СУШКИ

Анотація. У статті представлені результати досліджень, проведених з метою визначення впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетичні особливості протікання процесу їх сушки. Вміст бентоніту змінювали в межах від 0,5% до 2%. Сушку окотишів здійснювали в ізотермічному режимі при температурах від 200 до 600°C. Отримані експериментальні дані були проаналізовані й узагальнені. Установлено характер впливу кількості добавок бентоніту на швидкість протікання процесу сушки залізорудних окотишів у зазначеному діапазоні температур.

У даній роботі представлені й проаналізовані результати серії експериментів, присвяченої дослідженню впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетичні особливості протікання процесу їх сушки в інтервалі температур від 200 °С до 600 °С.

Проблема і її зв'язок з науковими й практичними задачами. Застосування бентонітової глини як в'язучої речовини при виробництві залізорудних окотишів є загальноприйнятою практикою в металургійній промисловості. Незважаючи на деякі негативні моменти, пов'язані з використанням даного типу в'язучого [1], саме бентоніт є невід'ємним компонентом технологічної схеми виробництва окотишів.

З огляду на те, що сушка залізорудних окотишів є процесом, який має безпосередній вплив на збереження їхньої цілісності й, отже, лімітує подальший розвиток всієї наступної теплової обробки (нагрівання й випал) [2], безсумнівний практичний інтерес представляє дослідження впливу вмісту бентонітової глини в складі залізорудних окотишів на кінетику їх сушки, що дозволить визначити основні закономірності видалення вологи з них і може бути корисним надалі при розробці й удосконаленні режимів сушки окотишів.

Аналіз досягнень і публікацій. Процес сушіння залізорудних окотишів всебічно проаналізований у ряді робіт, якими визначено основні закономірності процесів тепло- і масообміну, як усередині окотиша, так і з навколишнім середовищем [3,4]. Проте, питання впливу зміни компонентного складу окотишів на особливості протікання процесу їх сушки залишається недостатньо освітленим і вимагає ретельного аналізу в кожному конкретному випадку.

Постановка завдання. Метою даної роботи є вивчення впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетику їх сушки, в ізотермічному режимі, при різних температурах.

Виклад матеріалу й результати. Методика дослідження. Для зменшення ймовірної неточності результатів даного дослідження, в якості дослідного матеріалу, при проведенні експериментів, були використані не залізорудні окотиші, а брикети. Така заміна обумовлена можливістю збереження сталості заданих складу й щільності лабораторних брикетів, що у випадку виробництва окотишів являє собою певну складність. При виробництві залізорудних брикетів, завдяки високій точності дозування компонентів у кожному окремому брикеті, забезпечується чітке значення їх вологості і вмісту бентоніту, а сталість ваги зразків і тиску брикетування дозволяють підтримувати однаковими їх щільність і геометричні розміри, що, безумовно, позитивним чином впливає на чистоту проведених експериментів. Висновки, зроблені в результаті даного дослідження, справедливі рівною мірою для процесів сушки як брикетів, так і окотишів, оскільки різниця їхніх геометричних форм не спричиняє відмінностей у закономірностях протікання досліджуваного процесу.

У ході дослідження використовували шихти п'яти різних складів («а», «б», «в», «г», «д»), що відрізняються друг від друга вмістом бентоніту (табл. 1).

Змішування шихт здійснювали шляхом пошарового укладання матеріалів з наступним перемішуванням шарів між собою до досягнення повної гомогенізації маси шихти.

Одержання сирих брикетів відбувалося в лабораторних умовах на розривній машині МР-500, при тиску брикетування, рівному 282 кгс/бр. Вологість брикетів всіх п'яти складів була рівною 9,5%, а діаметр брикетів 15 мм.

Таблиця 1

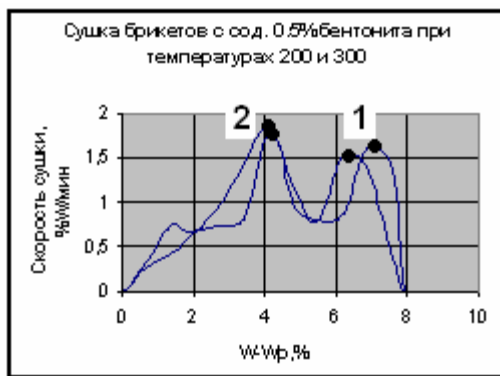
Компонентний склад шихт

	Вміст бентоніту, %	Вміст концентрату, %
Склад А	0,5	99,5
Склад Б	0,75	99,25
Склад В	1	99
Склад Г	1,5	98,5
Склад Д	2	98

Сушку брикетів проводили на експериментальній термогравиметричній установці. На цій установці вологі брикети в кошику, підвішеному до коромисла ваг, поміщали в робочий простір силітової печі, обладнаної термопарою, де підтримувалася незмінною задана температура, що дозволило здійснювати ізотермічну сушку брикетів. Температури сушки брикетів становили 200 °С, 300 °С, 400 °С, 500 °С і 600 °С.

В ході протікання процесу сушки, фіксували втрати маси брикетів у часі.

Обробка матеріалу й результати. При температурах сушки, рівних 200 °С і 300 °С, на кривій швидкості сушки чітко помітні два максимуми швидкості протікання процесу, позначені як точки 1, перший максимум, і 2, другий максимум (рис.1). Ділянка на кривій швидкості сушки від початкового моменту до першого максимуму, відповідає періоду прогріву брикету, при зростаючій швидкості видалення вологи. У цей час відбувається прогрів брикету від початкової температури до температури мокрого термометра та видалення вологи з його поверхні. Тривалість даного періоду становить від 2 до 4 хвилин. Тривалість цього періоду скорочується з ростом температури (так, при сушці брикетів із вмістом бентоніту 0,5%, вона склала 2,2 і 0,716 хвилин, для температур сушіння 200 °С і 300 °С, відповідно). Зміна вмісту бентоніту в брикетах при температурі сушки, рівній 200 °С, істотно не впливає на час протікання періоду прогріву. Однак, при підвищенні температури сушки до 300 °С, тривалість даного періоду, зі збільшенням масової частки бентоніту в складі брикетів, зростає від 0,716 хвилин (при вмісті бентоніту в брикетах 0,5%), до 3,83 хвилин (при вмісті бентоніту, рівному 1,5%).



1)

2)

Рисунок 1 - Криві швидкості сушки брикетів при температурах 200 °C і 300 °C із вмістом бентоніту : 1)- 0,5% ; 2) - 2%

Наступна ділянка на кривій швидкості сушки, обмежена першим і другим максимумами, характеризується значним падінням швидкості сушки. Найбільш імовірною причиною описаного характеру кривої варто вважати відсутність фільтрації нагрітого повітря в ході проведення експериментів, внаслідок чого, за час протікання періоду прогріву, повітряний простір навколо брикетів встигає значно насититися парами води. Протягом описуваного другого періоду все тепло, яке підводиться до брикету, витрачається на випар вологи й температура брикету залишається постійною, при цьому фронт випару усередину брикету не заглиблюється. До кінця даного періоду брикет втрачає приблизно половину всієї видаляємої вологи, при цьому критична точка переходу до наступного періоду, практично не міняється зі зміною вмісту бентоніту й ростом температури (при температурах сушіння 200°C і 300 °C, $W_{кр}$ складала: для брикетів із вмістом бентоніту 0,5% - 4,11% і 4,13% , а для брикетів із вмістом бентоніту 2% - 4,0 % і 4,03 % , відповідно). Тривалість даного періоду приблизно дорівнює попередньому періоду прогріву, збільшується з підвищенням вмісту бентоніту, і коливається при температурах сушіння 200°C і 300 °C від 1,85 і 2,22 хвилин, для вмісту бентоніту в брикетах 0,5% , до 5,87 і 3,83 хвилин, для вмісту бентоніту 1,5% .

Третя ділянка на кривій швидкості від другого максимуму до початку координат, відповідає періоду падаючої швидкості сушки матеріалу. Протягом цього періоду відбувається просування фронту сушки вглиб брикету, зростання його температури, видалення тієї

частини капілярної вологи (із дрібних капілярів), що залишилася і адсорбційно зв'язаної вологи. Середня швидкість видалення вологи в цьому періоді підвищується із ростом температури й падає зі збільшенням вмісту бентоніту.

На рис.2 зображені криві швидкості сушки брикетів всіх п'яти складів при температурах сушки 400 °С, 500 °С і 600°С. Наведені графіки можна розділити на два типи: ті, на яких після періоду прогріву, при зростаючій швидкості сушки, з'являється період, який можна класифікувати, як період постійної швидкості сушки, і ті, на яких за періодом прогріву відразу починається період падаючої швидкості сушки. Яскравим прикладом кривої швидкості сушки першої групи є графіки, що відповідають сушці брикетів із вмістом бентоніту 0,5% при температурах 400 °С, 500 °С і 600°С. Прикладом графіків другої групи служать криві швидкості сушки брикетів із вмістом бентоніту 1% і 1,5% при температурі 600°С. Причина спостережуваного переходу періоду зростаючої швидкості сушки відразу в період падаючої швидкості для кривих другої групи може полягати в тому, що вміст вологи брикетів, у такому випадку, після періоду прогріву менше, ніж критичний вологовміст, який відповідає переходу періоду постійної швидкості сушки в період падаючої швидкості. Протягом періоду зростаючої швидкості сушки, для другої групи, імовірно, відбувається прогрів води в капілярах, і послідовне випаровування капілярної вологи з поверхні окотиша, та, можливо, зсередини його. У ході періоду падаючої швидкості - поглиблення фронту сушки, прогрів висушених областей брикету й видалення вологи, що залишилася.

Загальна тривалість протікання процесу сушки в зазначеному діапазоні температур зростає зі збільшенням вмісту бентоніту в брикетах (табл.2).

Загалом дослідження показали, що зі збільшенням вмісту бентоніту в брикетах, швидкість їх сушки неминуче знижується. Так, з підвищенням вмісту бентоніту в брикетах з 0,5% до 2%, при температурі сушки, рівній 200°С, швидкість сушки знижується на 31,9%, а при такому ж підвищенні вмісту бентоніту й температурі сушки 600°С – на 37,4%. При температурах сушки 300, 400 і 500°С (зрівняємо знову сушку брикетів із вмістом бентоніту 0,5% і 2%), швидкість процесу зменшується трохи менш інтенсивно – на 28,26%,

19,33% і 14,42 %, відповідно. Дані, що відображують вплив кількості бентоніту в залізорудних окатишах на швидкість їх сушки при температурах від 200°C до 600°C, наведені в табл. 3.

Таблиця 2

Залежність часу сушки від вмісту бентоніту в брикетах

Температура сушки, °C	Вміст бентоніту, %				
	0,5	0,75	1	1,5	2
	Час сушки, хв.				
400 °C	4,8	6	7,03	7,5	6
500 °C	4,1	5,4	5,6	5,8	5,5
600 °C	2,3	5,6	5,5	4,16	6,25

Приведена закономірність пояснюється таким чином. Основним складовим бентонітових глин є мінерал монтморіллоніт [5], специфічність кристалічної решітки якого обумовлює здатність бентоніту диспергувати і набухати, всмоктуючи іноді більш ніж десятикратні кількості води [6]. Набрякання монтморіллоніту носить переважно внутрішньо кристалічний характер, і волога, у вигляді прошарків між високодисперсними частками глини, які утворюють просторову сітку, утримується молекулярними (ван-дер-ваальсовими) силами тяжіння, тобто є адсорбційно зв'язаною вологою [7]. Енергія зв'язку адсорбційної води ($3,47 \cdot 10^{10}$ ерг/моль) значно перевищує енергію зв'язку капілярної води (від $5,3 \cdot 10^3$ до $5,3 \cdot 10^8$) [8], тому природно, що збільшення вмісту адсорбційно зв'язаної води утруднює процес видалення води й знижує швидкість сушки брикетів.



1)



2)



3)



4)



5)

Рисунок 2 - Криві швидкості сушки брикетів при температурах 400 °С, 500 °С і 600 °С з вмістом бентоніту: 1) – 0,5%, 2) – 0,75%, 3) – 1%, 4) – 1,5%, 5) – 2%; буквами на графіках позначені температури сушки: а - 400 °С, б - 500 °С, в - 600 °С

Таблица 3

Залежність швидкості сушіння від змісту бентоніту в брикетах

Температура сушки, °С	Вміст бентоніту, %				
	0,5	0,75	1	1,5	2
	Швидкість сушки, % W/хв.				
200°С	0,9199	0,5844	0,423	0,4678	0,6265
300°С	1,0447	1,0771	0,6932	0,7408	0,7494
400°С	2,4322	2,3	2,2747	1,7623	1,962
500°С	2,5988	2,51	2,6884	2,3346	2,172
600°С	3,8668	2,9678	2,9915	2,9778	2,4206

Висновки. Проведено дослідження, з метою визначення впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окатишів на кінетичні особливості протікання процесу їх сушки в ізотермічному режимі при температурах від 200°C до 600°C. Кількість бентоніту змінювалася від 0,5% до 2%. Установлено, що у всьому діапазоні температур сушки, збільшення вмісту бентоніту приводить до значного зниження швидкості процесу сушки. Зазначене зниження найбільше яскраво проявляється при температурах 200,300, і 600°C. При температурах сушки 400°C, і особливо 500°C, зменшення швидкості сушки менш істотне, і, отже, можлива сушка залізорудних окатишів, що містять значні кількості бентоніту, з меншою шкодою для швидкості протікання процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Юсфин Ю.С., Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей.- М.: Металлургия, 1973, 272 с.
2. Интенсификация процесса сушки окатышей на обжиговых конвейерных машинах / Абзалов В.М., Солодухин А.А., Неволин В.Н. и др.// Сталь.2006.№6. с.28-30.
3. Берман Ю.А. Основные закономерности производства окатышей.- Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1991.- 184с.
4. Братчиков С.Г., Берман Ю.А., Белоцерковский Я.Л., Бабошин В.М., Майзель Г.М. Теплотехника окускования железорудного сырья.- М.: Металлургия, 1970.-344с.
5. Минералогический состав бентонитовых глин главных месторождений Украины / Коваленко Д.Н. // «Бентонитовые глины Украины», сб.2.- Изд-во АН УССР, 1958. с.23-42.
6. Ручкин И.Е. Производство железорудных окатышей. - М.: Металлургия, 1976.-184с.
7. Витюгин В.М., Докучаев П.Н.- «Информация ин-та «Черметинформация», 1968, сер.3, вып.10. с.2-10.
8. Лыков А.В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1968.-472с.

СОДЕРЖАНИЕ

Ларіонов Г.І.

Вибір параметрів кріплення гірничих виробок анкерами з попереднім навантаженням 3

Волковский О.С., Карашенко К.А.

Применение эвристического алгоритма в антивирусных приложениях идентификации вирусных конструкций в web-страницах..... 10

Булана Т.М., Коричковська О.С.

Обработка данных методом імовірнісних нейронних мереж 17

Виклюк Я.І., Рубанець Є.В.

Визначення привабливості території з використанням методу аналізу ієрархій..... 26

Подольський М.Р.

Особенности территориальных автоматизованных систем управління відходами 36

Козлов В.М., Хлынец В.П.

Образование текстуры на начальной стадии электрокристаллизации оцк металлов 44

Проволоцкий А.Е., Мохеб Мохаммад

Проектирование технологических процессов шлифования кругами из синтетических сверхтвердых материалов с гидроабразивной обработкой 50

Колбин Н.А., Камкина Л.В.

Закономерности изменения объема железорудных окатышей при газовом восстановлении в слоевых условиях 62

Ялова К.М., Павленко А.М.

Математичне моделювання теплової роботи дугових печей на етапі проплавлення колодязів..... 68

Шапран Л.А., Иванова Л.Х., Хитько А.Ю., Копылов А.Д.

Оценка конструкционной прочности роликов зоны вторичного охлаждения МНЛЗ 76

Маначина М.А., Кукушкин О.Н., Егоров А.П.

Диаграмма вышнеградского для систем управления с запаздыванием83

Селиверстов В.Ю.

Особенности определения технологических параметров газодинамического воздействия на расплав в литейной форме..... 91

Зеленцов Д.Г., Радуль А.А.

Уточнение модели с двумя последовательными одноконтурными связями при решении задачи весовой оптимизации корродирующих балок99

Чернецкий Є.В.

Аналіз ефективності методу деформації характеристики перетворення вимірювального каналу (якщо допоміжні величини формуються без похибки) 107

Кукушкин О.Н., Бойко Е.Г.

Полумарковская модель контроля восстанавливаемой системы..... 117

Ревенко Ю.М.

Влияние составов сож на параметры тонкой структуры сплава вк20 при совместном алмазном шлифовании со сталью..... 124

Поляков М.А.

Теоретико-множественная модель интегрированной контроллерной системы управления 130

Водолазкий Ю.О., Михальов О.І., Гасик М.І.

Дослідження точності методу розрахунку мультифрактальних спектрів для бінарних зображень 138

Кавац А.А., Дервянко А.И, Гуда А.И, Гасик М.И.

Моделирование процесса кристаллизации металлических сплавов 144

Худяков О.Ю., Ковальов Д.А., Ягольник М.В.

Вплив вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетику їх сушки 150

РЕФЕРАТЫ

УДК 622.28.044:622.831

Ларионов Г.И. **Выбор параметров крепления горных выработок анкерами с предыдущей нагрузкой** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.3-9.

В работе представлены результаты математического моделирования процессов происходящих в системе «анкерная штанга – фиксирующий состав – горная порода» с учетом глубины расположения выработки и предварительного натяжения анкерных штанг. Приведена формула, связывающая параметры анкерного крепления: глубину расположения горной выработки, подлежащей креплению, величину предварительного натяжения анкерных штанг, длину и диаметр штанг, а также критерий определяющий, зону горных пород с необходимой степенью сжатия и обеспечивающий устойчивость пород в окрестности горной выработки.

Библ.7, ил.0.

УДК 681.31

Волковский О.С., Карашенко К.А. **Применение эвристического алгоритма в антивирусных приложениях идентификации вирусных конструкций в web-страницах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.10-16.

Рассмотрен эвристический алгоритм поиска потенциально опасных команд скриптовых языков, внедренных в web-страницы. Показано, что существующие методики определения вирусных вставок не совершенны. Создана модель эвристико-логической системы для оценки опасности web-страниц. Проведены исследования и доказана научная ценность предлагаемого метода.

Библ.6, ил.1.

УДК 004.654: 004.852

Буланая Т.М., Коричковская О.С. **Обработка данных методом вероятностных нейронных сетей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск 4 (63). – Днепропетровск, 2009. . – с. 17-25.

Рассмотрены нейросетевые технологии для решения задач классификации, в частности диагностирования по медицинским данным. Проанализированы существующие алгоритмы решения данной задачи. Для детального анализа среди них было избрано: MLP (MultiPlayer Perceptron, многослойный перцептрон), PNN (Probabilistic Neural Networks, вероятностная нейронная сеть), GRNN (General Regression Neural Networks, обобщенно-регрессионная нейронная сеть). Разработана гибридная нейронная сеть объединившая PNN и MLP. Проведено сравнение нейронных сетей, выявлены сложности реализации, особенности применения и настройки.

Библ. 5, ил. 3.

УДК 519.7:519.81

Виклюк Я.І., Рубанець Є.В. **Визначення привабливості територій з використанням методу аналізу ієрархій** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.26-35.

Запропоновано метод розрахунку агрегованого показника туристичної привабливості території за допомогою методу аналізу ієрархій з врахуванням фактору

сезонності. Визначено основні показники туристичної привабливості основних туристично-рекреаційних систем Чернівецької області. Проведено порівняльний аналіз з розрахунками отриманими за допомогою апарату нечіткої логіки.

Бібл.11, іл.2.

УДК 681.5

Подольський М.Р. **Особенности территориальных автоматизированных систем управления отходами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.36-43.

Рассмотрена проблема отходов и принципа международного и национального регулирования обращения с отходами. Проанализированы территориальные аспекты проблемы отходов и разработана структура территориальной автоматизированной системы управления отходами.

Библ.3, ил.1.

УДК 669.017

Козлов В.М., Хлинцев В.П. **Утворення текстури на початковій стадії електрокристалізації ОЦК металів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.44-49.

У роботі наведені результати розрахунків роботи утворення зародків з ОЦК кристалічної решіткою на індіферентній поверхні. Аналізувалися зародки з різною кристалографічною віссю, перпендикулярній поверхні підкладки: $\langle 110 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$. Показано, що з ростом кристалізаційної перенапруги знижується як число атомів у критичному зародку, так і число атомних шарів у цьому зародку. Виявлено закономірну зміну роботи утворення критичних зародків в ряді $A_{110} < A_{100} < A_{111}$. Зроблено висновок, що віссю початкової текстури повинен бути напрям $\langle 110 \rangle$ незалежно від величини кристалізаційної перенапруги. Запропонований механізм текстуроутворення є подальшим розвитком ідеї атомістичної теорії електролітичної нуклеації.

Бібл. 10, іл.1.

УДК 621.924

Проволоцький А.Е., Мохеб Мохаммад. **Проектування технологічних процесів шліфування кругами з синтетичних надтвердих матеріалів з гідроабразивної обробкою** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.50-61.

У роботі проведені теоретичні дослідження оптимізації режимів шліфування з використанням синтетичних надтвердих матеріалів методів шліфування з гідроабразивної струменем. З врахуванням оптимальних значень величини лінійного зносу зерна і із застосуванням гідроабразивної струменя можна підвищити продуктивність, стійкість шліфувального круга і утворити матовий мікрорельєф на оброблюваній поверхні.

Бібл. 9, іл.0.

УДК 669.162.2

Колбін М.О., Камкіна Л.В. **Закономірності змінення об'єму залізорудних окатишів при газовому відновленні в умовах шару** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.62-67.

Проведено дослідження, що дозволяє оцінювати змінення об'єму залізорудних окатишів по висоті шару при відновлювальній процесі. Показано зв'язок змінення об'єму зі ступенем відновлення. Статичні навантаження в умовах шару незначні і міцність окатишів визначається не вихідною міцністю окатишів, а процесами, що відбуваються при відновленні.

Бібл. 8, іл.2.

УДК 621.717:669.046

Ялова К.М., Павленко А.М. **Математичне моделювання теплової роботи дугових печей на етапі проплавлення колодязів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.68-75.

В роботі розглянуто етап проплавлення колодязів теплової роботи дугової сталеплавильної печі. Проаналізовані процеси теплообміну, що мають місце в об'ємі шихти, «болота» та футеровки печі. Зроблено математичний опис процесу проплавлення колодязів з урахуванням початкових і граничних умов теплообміну.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 622.788

Шапран Л.А., Иванова Л.Х., Хитько А.Ю., Копылов А.Д. **Оценка конструкционной прочности роликов зоны вторичного охлаждения МНЛЗ** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.76-82.

В данной работе представлены и проанализированы результаты серии экспериментов, посвященные сравнительному исследованию прогибов опытных литых биметаллических и серийных кованных роликов зоны вторичного охлаждения машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) в разных периодах разливки стали.

Библ. 2, ил. 2.

УДК 681.5.01

Маначина М.О., Кукушкін О.М., Єгоров О.П. **Діаграма Вишнеградського для систем управління з запізнаванням** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.83-90.

Виконане дослідження впливу запізнення на характер перехідних процесів у системах із запізненням досить загального виду. Для цього використали діаграму Вишнеградського, що дозволяє визначати вид перехідного процесу знаючи характеристичне рівняння, без моделювання системи

Бібл. 13, іл. 9.

УДК 621.744.3:533

Селівьорстов В.Ю. **Особливості визначення технологічних параметрів газодинамічного впливу на розплав у ливарній формі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.91-98.

Приведено опис розрахункових схем і інформаційних технологій для реалізації методики визначення основних технологічних параметрів здійснення процесу газодинамічного впливу на розплав у ливарній формі.

Газодинамічний вплив, методика, розрахунок, твердіння, інформаційні технології, аналіз сірчаних відбитків

Бібл. 8, іл. 3.

УДК 624.04

Зеленцов Д.Г., Радуль О.А. **Уточнення моделі з двома послідовними одно контурними зв'язками при розв'язанні задачі вагової оптимізації кородуючих балок** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.99-106.

В статті розглянута двоконтурна математична модель розв'язання задачі вагової оптимізації кородуючих балочних конструкцій і модель з двома послідовними одноконтурними зв'язками, показані переваги останньої. Отриманий аналітичний розв'язок задачі вагової оптимізації балки прямокутного перетину для другої моделі, що дозволило точно визначити значення вагових коефіцієнтів для узагальненої цільової функції. Наводяться результати чисельного експерименту, що підтверджує можливість використання моделі з двома послідовними одноконтурними зв'язками при правильному виборі вагових коефіцієнтів і критерію оптимальності.

Бібл. 3, іл. 4.

УДК 658.562

Чернецький Є.В. **Аналіз ефективності методу деформації характеристики перетворення вимірювального каналу (якщо допоміжні величини формуються без похибки)** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.107-116.

Проведено аналіз впливу умов контролю на ефективність методу деформації характеристики перетворення вимірювального каналу у промислових умовах. Доведено що в однакових умовах мультиплікативний та адитивний цикли деформації мають різні зони мінімальної ефективності. Сформовано цільові функції для кожного з циклів деформації. Після проведеного аналізу визначено основні критерії вибору того чи іншого циклу деформації та сформовано алгоритм використання методу.

Бібл. 4, іл.5.

УДК 681.5

Кукушкін О.М., Бойко О.Г. **Напівмарковська модель контролю відновлювальної системи** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.117-123.

Побудована напівмарковська модель процесу контролю параметричних відмов автоматизованої системи, знайдені стаціонарні характеристики надійності і якості її функціонування.

Бібл. 6, іл. 0.

УДК 621.9.079

Ревенко Ю.М. **Вплив складу МОР на параметри тонкої структури сплаву ВК20 при сумісному алмазному шліфуванні зі сталлю** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.124-129.

Дана робота присвячена дослідженню впливу складу МОР на покращення якості сумісного алмазного шліфування робочих елементів вирубних прецизійних штампів, які складаються з твердого сплаву та сталі. Було встановлено, що застосування при алмазному шліфуванні твердих сплавів ефективного складу МОР утворюються благоприємні умови для формування поверхневого шару деталей з підвищеними експлуатаційно-технологічними властивостями.

Бібл.10, табл.2.

УДК 519.86:681.51

Поляков М.О. **Теоретико-множинна модель інтегрованої контролерної системи керування** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.130-137.

Розглядаються особливості програмованих контролерів як елементів інтегрованих систем керування. Описані множини типових елементів контролера на рівнях сполучення з об'єктом керування, керування апаратними засобами, системними, типовими операціями, операціями користувача, керування станами та адаптацією. Запропонована теоретико-множинна модель інтегрованої контролерної системи керування.

Біб. 9, іл. 2, табл. 1.

УДК 669.01:530.1:539.4

Водолазский Ю.А., Михалёв А.И., Гасик М.И. **Исследование точности метода расчёта мультифрактальных спектров для бинарных изображений** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.138-143.

Работа посвящена оцениванию погрешностей метода вычисления мультифрактальных спектров. Тестируется реализация метода на регулярных фракталах. Исследуется чувствительность метода к некоторым геометрическим преобразованиям.

Библ. 7, илл. 1, табл. 2.

УДК 669.01: 530.1: 539.4

Кавац О.О., Дерев'янка О.І, Гуда А.І., Гасик М.І. **Моделювання процесу кристалізації металевих сплавів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.144-149.

Стаття присвячена моделювання процесу кристалізації металевих сплавів.

Бібл. 6, рис. 2.

УДК 622.788

Худяков О.Ю., Ковальов Д.А., Ягольник М.В. **Вплив вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетику їх сушки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(63). – Днепропетровск, 2009. – С.150-157.

У статті представлені результати досліджень, проведених з метою визначення впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетичні особливості протікання процесу їх сушки. Вміст бентоніту змінювали в межах від 0,5% до 2%. Сушку окотишів здійснювали в ізотермічному режимі при температурах від 200 до 600°C. Отримані експериментальні дані були проаналізовані й узагальнені. Установлено характер впливу кількості добавок бентоніту на швидкість протікання процесу сушки залізорудних окотишів у зазначеному діапазоні температур.

Бібл. 8.

UDC 622.28.044:622.831

Larionov G.I. **Parameter choice for pretension anchor mine openings supporting** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.3 – 9.

The paper presents mathematic model results for system “anchor bar – resin - rock” with taking into account the depth and pretension values. The formulae linking the values of opening’s depth, bar pretension, diameter, length and roof compressed rock stability criteria in it vicinity is presented.

Bibl.7, il.0.

UDC 681.31

Volkovskiy O.S., Karaschenko K.A. **Application of the heuristic algorithm in the anti-virus applications, identification of viral structures in the web-pages** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.10 – 16.

UDC 004.654: 004.852

Bulanaya T.M., Korichkovskaya O.S. **Data processing by the method of probabilistic neural networks** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.17-25.

Diagnosings under the medical data are considered neuralnetwork technologies for the decision of problems of classification, in particular. Existing algorithms of the decision of the given problem are analysed. For the detailed analysis among them it has been selected: MLP (MultiPlayer Perceptron), PNN (Probabilistic Neural Networks), GRNN (General Regression Neural Networks). The hybrid neural network united PNN and MLP is developed. Comparison of networks is spent, complexities of realisation, feature of application and adjustment are revealed.

Bibl. 5, ill. 3.

UDC 519.7:519.81

Vyklyuk Ya.I., Rubanets E.V. **Determination of appeal territory using the method of analytic hierarchy** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.26-35.

The method of calculation of aggregation of tourist attractiveness of territory is offered by the method of analysis of hierarchies taking into account the factor of seasonality. Certainly of tourist attractiveness of basic tourist recreation systems of the Chernivtsi area. A comparative analysis is conducted with calculations got by the vehicle of fuzzy logic.

Bibl.11, il.2.

UDC 681.5

Podolskyy M.R. **Featuers of Territirial Wastes Management Automated Command Systems** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.36 – 43.

The problem of wastes and international and national regulations of waste management are presented. The territorial aspects of waste problem are discussed and structure of wastes management automated command system was designed.

Bibl.3, il.1

UDC 669.017

Kozlov V.M., Khlyntsev V.P. **Texture formation at the initial stage of electrocrystallization of bcc metals** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.44 – 49.

Results of calculations of the formation work of nuclei having an bcc crystalline lattice on an indifferent substrate are adduced in the present paper. Nuclei with a different

crystallographic axis perpendicular to the substrate surface were analyzed: $\langle 110 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ and $\langle 111 \rangle$. It is shown that by increasing crystallization overvoltage the number of atoms in the critical nucleus is decreasing as well as the number of atomic layers in this nucleus. A regular change of the formation work of nuclei was discovered and for each overvoltage value $A_{110} < A_{100} < A_{111}$. It resulted that the initial texture axis of bcc metals is always the $\langle 110 \rangle$ axis which does not depend on the value of the crystallization overvoltage. The proposed mechanism of texture formation is the further development of ideas of the atomistic theory of electrolytic nucleation.

Bibl. 10, ill.1.

UDC 621.924

Provolotskiy A.E., Moheb Mohammad. **Planning of technological processes of polishing circles from synthetic over hard materials with hydroabrasive treatment** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.50 – 61.

In work of conducted theoretical researches of optimization of the modes of polishing with the use of synthetic over hard materials of polishing methods are with hydroabrasive stream. With calculate of optimum values of size of linear wear of grain and with the use of hydroabrasive stream it is possible to promote the productivity, firmness of polishing circle and to form mat micro relief on the processed surface.

Bibl. 9, ill.0.

UDC 669.162.2

Kolbin N.A., Kamkina L.V. **Regularity in ferrous pellets volume change during gaseous reduction in packed layer** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.62 – 67.

Researches were carried out to estimate the varying of ferrous pellets breaking strength through charging layer height during the reduction process. Connection between pellets volume change and reduction grade was shown. Static loadings in charging layer are low and pellets strength is determined by reduction process moving, not by primary pellets strength.

Bibl. 8, ill.2.

UDC 621.717:669.046

Yalovay K.M., Pavlenko A.M. **Mathematical modeling of thermal arc PE-chey stage proplavlennya wells** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.68 – 75.

The period of pits' melting of the arc furnace's thermal work is considered in given work. The processes of the heat exchange proceeding in the charge, liquid melting-bath and brick-lining are analyzed. The mathematical statement of a process of the pits' melting taking into account the initial and the limited conditions of the heat exchange is formulated.

Bibl.4, ill. 2.

UDC 622.788

Shapran L.A., Ivanov L.H., Hitko A.J., Kopylov A.D. **Assessment of structural integrity of the secondary cooling zone of roller CCM** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.76 – 82.

Bibl.2, ill. 2.

UDC 681.5.01

Manachina M. A, Kukushkin O. N, Egorov A.P. **The diagram of Vyshnegradsky for control systems with delay** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.83 – 90.

Research of influence of delay on character of transients in systems with delay enough general view is executed. For this purpose used the diagram of Vyshnegradsky which allows to define a transient kind knowing the characteristic equation, instead of modelling system.

Bibl.13, ill. 9.

UDC 621.744.3:533

Seliverstov V.Yu. **Features of determination of technological parameters of gaz-dynamyc influence on fusion in a casthouse form** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.91 – 98.

The schematic calculations and informations technologies is resulted for realization of method of determination of basic technological parameters of realization of process of gaz-dynamyc influence on fusion in a casthouse form.

Gaz-dynamyc influence, method, calculation, thermosetting, informations technologies analysis of sulphuric imprints

Bibl.8, ill. 3.

UDC 624.04

Zelentsov D.G., Radul A.A. **Improvement of the model with two sequential single-circuit connections in the task of weight optimization of corroding beams** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.99 – 106.

In this article the two-circuit mathematical model of the solution of the weight optimization of corrosive beam structures and a model with two sequential single-circuit connections are considered. The advantages of the last model are shown. An analytical solution for the second model of the weight optimization of a beam with rectangular cross-section is obtained. Which allows to determine precise values of weighting coefficients for the generalized objective function. The results of numerical experiments confirmed the possibility of using a model with two sequential single-circuit connections in condition of right choice of weight coefficients and the optimality criterion.

Bibl.3, ill. 4.

UDC 658.562

Chernetsky E.V. **The efficiency analysis of deformation method of measuring channel transformation characteristic (if auxiliary sizes are formed without an error)** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.107 – 116.

The influence analysis of control conditions on efficiency of deformation method of measuring channel transformation characteristic in industrial conditions is carried out. It is proved, that in identical conditions multiplicate and additive deformation cycles have different zones of the minimum efficiency. Criterion functions for each of deformation cycles are generated. After the spent analysis the basic criteria of a choice of this or that cycle of deformation are defined and the algorithm of use of a method is made.

Bibl.4, ill. 5.

UDC 681.5

Kukushkin O.N., Boyko E.G. **The Semi-Markovian model of the restored system** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.117 – 123.

The Semi-Markovian model of parametrical refusals process control of the automated system is built. The stationary characteristics of reliability and quality of its functioning are found.

Bibl.6, ill. 0.

UDC 621.9.079

Revenko Y.M. **Effect of coolant on the parameters of the fine structure of the alloy VK20 with joint diamond grinding with steel** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.124 – 129.

UDC 519.86:681.51

Polyakov M.O. **The theoretical-multiple model of controller integrated control system** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.130 – 137.

The features of programmable comptrollers are examined as elements of integrated control system. The multiplies of typical controller elements are set to be at the levels of interfaced control objects, hardware control, system spread and users operations, control state and adaptation level are described. The theoretical-multiple model of controller integrated control system is proposed.

Bibl. 9, silt. 2, tabl. 1.

UDC 669.01:530.1:539.4

Vodolazsky Y.A., Mikhalyov A.I., Gasik M.I. **Investigation of the accuracy of the method of calculation multifractal spectra for binary images** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.138 – 143.

Article is devoted to estimation error method of calculation of multifractal spectra. Testing of the method done on regular fractals. The sensitivity of the method to some geometric transformations is studied in this work.

Bibl. 7, ill. 1, tabl. 2.

UDC 669.01: 530.1: 539.4

Kavats A.A., Derevianko A.I., Guda A.I., Gasik M.I. **Modeling of crystallization process of metallic alloys** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.144 – 149.

Article is devoted to modeling the crystallization process of metallic alloys.

Bibl. 6, Fig. 2.

UDC 622.788

Khudyakov A.U., Kovalyov D.A., Ygolnik M.V. **Influence of the bentonite contents in iron ore pellets on kinetics of their drying** // System technologies. N 4(63) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.150 – 157.

In this paper are presented the results of studies, carrying out for determination the influence of the bentonite contents in iron ore pellets on kinetic particularities of realize their drying. The bentonite contents changed within from 0,5% to 2%. Drying of iron ore pellets was realized in isotherm mode at the temperature from 200 to 600 °C. Experimental data were analysed and generalised. The nature of influence bentonite additives on velocity of the iron ore pellets drying process in specified range of the temperatures was determinate.

Bibl. 8.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Ларіонов Г.І. – к.т.н., Інститут геотехнічної механіки НАН України ім. М.С. Полякова (ІГТМ).

Волковский О.С. – ДНУ ім. Олеся Гончара.

Каращенко К.А. - ДНУ ім. Олеся Гончара.

Виклюк Я.І. - к.ф.-м.н., доцент, докторант НУ „Львівська політехніка”.

Рубанець Є.В. - старший викл. Економіко-правничого інституту, м. Чернівці.

Подольський Мирослав Романович - старший науковий співробітник Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України, кандидат технічних наук, м.Львів.

Козлов В.М. – доктор химических наук, профессор, НМетАУ.

Хлынцев В.П. – к. ф.-м. н., доцент, НМетАУ.

Колбин Николай Алексеевич - ассистент каф. ТМП и ФХ НМетАУ.

Камкина Людмила Владимировна - проф., д.т.н., зав. каф. ТМП и ФХ НМетАУ.

Павленко Анатолій Михайлович – д.т.н., професор, декан енергетичного факультету Дніпродзержинського державного технічного університету.

Ялова Катерина Миколаївна - асистент кафедри „Програмне забезпечення автоматизованих систем” Дніпродзержинського державного технічного університету.

Шапран Л.А.

Иванова Л.Х.

Хитько А.Ю.

Копылов А.Д.

Маначина Мария Александровна - аспирант кафедры Автоматизации технологических процессов, НМетАУ.

Кукушкин Олег Николаевич - д.т.н., профессор кафедры Автоматизации технологических процессов, НМетАУ.

Егоров Александр Петрович - к.т.н., заведующий кафедрой Автоматизации технологических процессов, НМетАУ.

Селиверстов Вадим Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры Литейного производства, НМетАУ.

Зеленцов Дмитрий Геннадиевич – заведующий кафедрой компьютерных технологий и высшей математики ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», д.т.н., профессор.

Радуль Александр Анатольевич – аспирант кафедры компьютерных технологий и высшей математики ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет».

Чернецький Євгеній В'ячеславович - асистент кафедри автоматизації виробничих процесів ДВНЗ „Український Державний хіміко-технологічний університет”.

Бойко Елена Георгиевна - ст.пр. кафедри высшей математики, СевНТУ.

Ревенко Юрій Михайлович – к.т.н., доцент кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Дніпродзержинського державного технічного університету.

Поляков М.А.

Водолазский Юрий Александрович – ассистент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Михалёв Александр Ильич - проф., д.т.н., зав кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Гасик Михаил Иванович - заведующий кафедрой электрометаллургии, доктор технических наук, академик НАНУ, профессор, НМетАУ.

Кавац Алена Александрова - ассистент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Деревянко Александр Иванович – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Гуда Антон Игоревич - к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Ковалев Дмитрий Арсениевич - д.т.н., профессор кафедры металлургии чугуна Национальной Металлургической Академии Украины.

Худяков Александр Юркевич - аспирант кафедры металлургии чугуна Национальной Металлургической Академии Украины.

Ягольник Максим Вікторович - кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии чугуна Национальной Металлургической Академии Украины.