УДК 621.039.555

В.Ю. Плахотник

СРАВНЕНИЕ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУМЕРНЫХ КОДИРОВАННЫХ АПЕРТУР

Аннотация. В работе исследованы томографические возможности систем визуализации гамма-излучения с двумерными кодированными апертурами. Методами математического моделирования исследовано влияние дефокусировки системы на качество получаемых изображений. Проведено сравнение томографических свойств кодирующих масок на базе однородно избыточных, модифицированных однородно избыточных массивов и циклического кода Хэмминга. Установлено, что томографические свойства систем визуализации не зависят от типа кодирующей последовательности.

Ключевые слова: гамма излучение, томография, кодированная апертура, кодирующая последовательность.

Система визуализации гамма-излучения с кодированной апертурой содержит узел кодирования потока гамма-квантов (кодирующая маску) и позиционно-чувствительный детектор - ПЧД. Кодирующая маска предназначена для кодирования информации о местонахождении источника гамма-квантов и представляет собой множество элементов, часть из которых поглощает значительную долю гамма-излучения источника, а другая часть множества элементов абсолютно прозрачна для гамма-квантов. Гамма-кванты, испускаемые объектом в направлении ПЧД, создают на нем гамма-тень маски. Эта тень регистрируется ПЧД в виде числа гамма-квантов, испытавших взаимодействие в отдельных ячейках. Последующая математическая обработка зарегистрированной тени позволяет восстановить изображение объекта.

Зарегистрированная тенеграмма P(x,y) представляет собой функцию корреляции функции источника O(ξ,η), описывающей распределение выхода гамма-квантов из объекта и функции a(x',y'), описывающей пропускание апертуры. В общем случае, с учетом регистрации аддитивного фона детектора, не зависящего от источников, выражение для функции тени можно записать в виде

© Плахотник В.Ю., 2011

$$P = O * a + B \quad (1)$$

где B = B(x,y) - регистрируемый ПЧД фон, не обязательно однородный, * - оператор корреляции.

Уравнение (1) представляет собой интегральное уравнение, многочисленные трудности, возникающие при решении такого типа уравнений, хорошо известны. Однако, исходное распределение источников излучения можно восстановить, используя корреляционные методы анализа [1], с помощью специальным образом выбранной обрабатывающей (или декодирующей) функции. Выражение для восстановленного распределения источников, полученного с помощью двумерной кодирующей маски, будет иметь вид:

$$O'_{k,l} = \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{m-1} P_{i,j} \cdot G_{i+k,j+l} \quad (2)$$

где G – обрабатывающая функция, m,n – размерность кодирующей маски.

В практике применения кодированных апертур для построения кодирующих масок используют кодирующие последовательности, имеющие идеальную функцию рассеяния точки (ФРТ). ФРТ для системы с идеальным кодированием представляет собой ограниченную δ-функцию – единственный пик с плоскими боковыми лепестками. Идеальную ФРТ имеют несколько типов кодирующих последовательностей. Среди них чаще всего используют однородно избыточные массивы (Uniformly Redundant Arrays - URA) [1], циклические коды Хэмминга (M-sequence) [2], модифицированные однородно-избыточные массивы (MURA) [3].

Одно из уникальных свойств системы визуализации γ-излучения с кодированной апертурой состоит в возможности получения с ее помощью томографических изображений, т.е в возможности послойного двумерного изображения трехмерного излучающего объекта. Исследования томографических возможностей систем с кодированными апертурами были проведены еще в работе [4]. Были исследованы томографические свойства двух типов массивов – URA на основе квадратичных вычетов и на основе циклического кода. По мнению авторов [4], массив на основе циклического кода предпочтительнее для томографических целей, чем массив на основе квадратичных вычетов, т.к. "более случайная"

 ISSN 1562-9945

природа циклического кода позволяет проявить хорошие дефокусирующие свойства случайного массива.

В последние несколько лет разработчики медицинских томографов для ОФЭКТ(SPECT)-томографии обратили внимание на использование кодирующих масок вместе с медицинскими гамма-камерами [5,6]. В работах приведены результаты экспериментов с медицинскими гамма-камерами, оборудованными кодирующими масками различных размерностей, показаны их принципиальные томографические возможности. Однако, выбор кодирующей последовательности никак не обоснован.

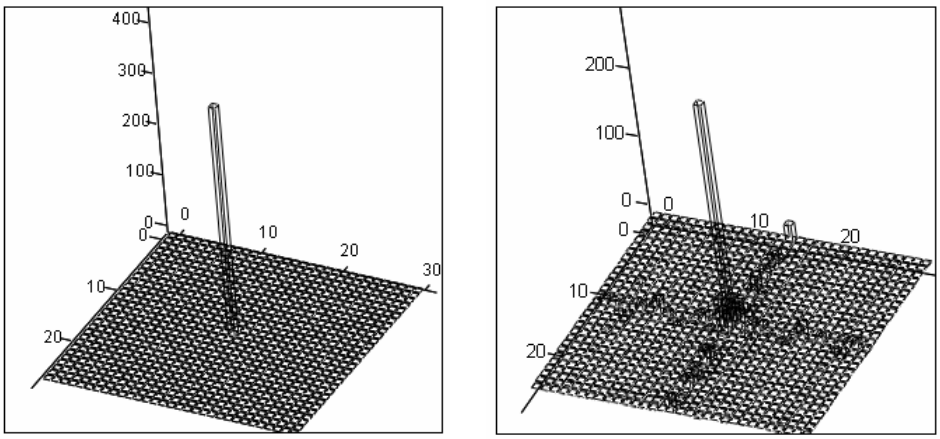
Цель нашей работы – сравнение томографических свойств двумерных кодирующих масок, построенных на различных типах кодирующих последовательностей.

Для исследования томографических свойств была создана математическая модель двумерного детерминированного кодирования с учетом дефокусировки. Основные идеи формирования изображения и измерения дефокусировки были изложены в нашей предыдущей работе [7]. Математическая модель была реализована в среде MathCAD 14, восстановление распределений источников и анализ результатов также производился с помощью стандартных средств MathCAD.

На рисунке 1а) показан пример ФРТ системы визуализации с кодирующей маской 29Ч31 элемент на основе квдратично-вычетного кода (URA) при идеальном кодировании (источник излучения находится в фокальной плоскости). Высота центрального пика равна количеству прозрачных для γ-излучения элементов маски.

Влияние дефокусировки тенеграммы проявляется при восстановлении изображения в виде снижения величины центрального пика и появления в боковых лепестках положительных отличных от нуля значений – положительного фона (рисунок 1б)).

Обращает на себя внимание тот факт, что в случае двумерной кодированной апертуры положительные шумовые значения, вызванные дефокусировкой, возникают в ряду и строке изображения, на пересечении которых находится отклик истинного положения источника. Таким образом, примененный нами ранее критерий оценки качества изображения в виде контраста [7] оказывается несостоятельным.



а) б)

Рисунок 1 – ФРТ системы визуализации с двумерной кодированной апертурой: а) источник в фокальной плоскости; б) источник вне фокальной плоскости

Для оценки влияния дефокусировки на качество изображения в случае двумерных кодированных апертур была выбрана относительная высота центрального пика – отношение высоты пика в дефокусированном изображении к высоте пика источника в фокальной плоскости. При исследовании рассчитывались зависимости относительной высоты пика от степени дефокусировки – коэффициента масштабирования [7]:

$$k(z) = \frac{1}{m} \cdot \left(1 + \frac{f}{b+z}\right) \qquad (3)$$

Здесь m – коэффициент увеличения, b – расстояние от маски до плоскости источников, f – расстояние от маски до ПЧД, z – расстояние от фокальной плоскости до плоскости источников. Коэффициент масштабирования может быть больше или меньше 1 в зависимости от знака z и значение этого коэффициента будет определять уровень дефокусировки тенеграммы.

Для сравнительных исследований были выбраны кодирующие последовательности близких размерностей, т.к. в предыдущей работе была установлена существенная зависимость томографических свойств от размерности кодирующей последовательности. Основой для выбора размерностей послужил тот факт, что циклический код Хэмминга может быть построен только по основанию (2m-1) и не всякий такой код можно преобразовать в двумерную маску. В частности, код Хэмминга длинной 1023 = 210-1 можно преобразовать в двумерную маску 31Ч33 элемента.

 ISSN 1562-9945

Таким образом, для сравнения томографических свойств были использованы маски на основе однородно избыточного массива (URA) 29Ч31 элемент, модифицированных однородно избыточных массивов (MURA) 29Ч29 и 31Ч31 элемент и кода Хэмминга (M-sequence) 31Ч33 элемента. Для определения зависимости томографических свойств от размерности двумерной кодированной апертуры была также рассчитана зависимость относительной высоты пика для маски URA 41Ч43 элемента от степени дефокусировки.

На рисунке 2 показаны зависимости относительной высоты пика источника от коэффициента масштабирования k. Индексы у обозначений кривых соответствуют размерностям маски.

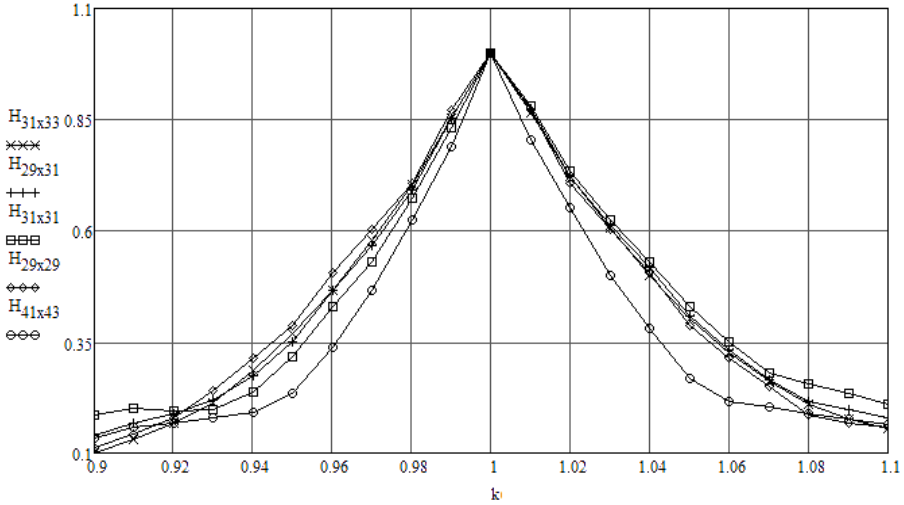


Рисунок 2 – Зависимость относительной высоты центрального пика в восстановленном изображении от степени дефокусировки

Очевидно, что ширина пика приведенных на рисунке зависимостей практически одинакова для всех типов кодирующих последовательностей с размерностью от 29Ч29 до 31Ч33 элемента. Значение разрешения пиков по критерию Рэлея – высота впадины должна составлять 0,29 от высоты максимумы – для всех типов кодирующих масок составляет 0,1 (от 0,95 до 1,05). При этом очевидно так же, что томографическое разрешение улучшается с увеличением размерности маски. Ширина пика для маски 41Ч43 элемента существенно меньше и составляет менее 0,08 (от 0,965 до 1,04).

Томографическое разрешение системы в абсолютных величинах может быть вычислено на основании соотношения (3) и

будет определяться конкретными геометрическими размерами системы визуализации.

Таким образом, в результате исследования томографических возможностей систем визуализации γ-излучения с кодирующими масками различного типа было установлено, что с точки зрения томографических свойств ни один из типов кодирующих последовательностей не обладает преимуществами. Улучшить томографическое разрешение системы визуализации можно только путем увеличения размерности кодирующей маски. На этом пути возникают иные трудности, связанные с размером элемента маски (автоколлимация, прозрачность элемента и т.д.). Из-за этого задача оптимизации томографических возможностей системы превращается в многофакторную оптимизационную задачу. Выбор типа кодирующей последовательности будет определяться другими, в основном конструкционными, требованиями – простота изготовления, удобство монтажа и обслуживания, а также необходимостью измерений с антимаской.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fenimore E.E. Coded Aperture Imaging with Uniformly Redundant Arrays.// E.E. Fenimore, T.M. Cannon / Applied Optics, 1978. - v.17, No.3. - pp.337-347.
2. Proctor R.J. The Design of Optimum Coded Mask X-Ray Telescopes. // Proctor R.J., Skinner G.K., Willmore A.P. / Monthly Notes of Royal Astronomical Society, 1979. - v.187 - pp. 663-643.
3. Gottesman S. R. New family of binary arrays for coded aperture imaging.// S. R. Gottesman, E. E. Fenimore / Applied Optics, 1989. - Vol. 28, No. 20. – pp. 4344-4352
4. Cannon T.M. Tomographical Imaging Using Uniformly Redundant Arrays.// T.M. Cannon, E.E. Fenimore./ Applied Optics, 1979. - v. 18, No.7. - p.1052-1057.
5. С.В. Марков. Томографическая гамма-камера со сменными кодирующими коллиматорами.// С.В. Марков, В.М. Немчинов, Д.С. Семенов, Г.А. Федоров./ Качество, инновации, образование и CALS-технологии. Материалы международного симпозиума под ред. д.т.н. профессора В.Н.Азарова.- М.:Фонд "Качество", 2005. – 258 с. - с. 92-96.
6. Казачков Ю.П. Применение кодированных апертур в медицинских гамма-камерах.// Казачков Ю.П., Семенов Д.С., Горячева Н.П. / Приборы и техника эксперимента, 2007, №2. - с.131-139.
7. Плахотник В.Ю. Томографические возможности систем визуализации гамма-излучения с кодированными апертурами.// Плахотник В.Ю., Поляков Г.А / Системні технології. Регіональній міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск №4(69) – Дніпропетровськ, 2010. – с. 79-87.

 ISSN 1562-9945

УДК 622.64-531.6:65.011.56

А.С. Минеев

К ОЦЕНКЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОМАТЕРИАЛЫ

Аннотация. В работе выполнена оценка оптимальных параметров вибрационного воздействия на упругие и неупругие геоматериалы, при которых в среде достигается максимум амплитуды напряжений. В случае неупругих материалов для оптимизации предложен информативный параметр, характеризующий степень передачи виброэнергии по среде.

Анализ исследований позволил рекомендовать для эффективного рыхления смезшегося геоматериала использование режима многочастотного вибровоздействия.

Ключевые слова: Параметры, вибрация, воздействие, многочастотные, геоматериалы, смерзшийся, энергопроводность.

В последнее время в некоторых отраслях промышленности начинают широко внедряться вибротехнологии, позволяющие реализации процессы дезинтеграции геоматериалов с различным целевым назначением. Например, перспективным направлением является использование вибрации в транспортной промышленности для эффективной разгрузки сыпучих слипшихся или смерзшихся геоматериалов, в строительстве, а также другие технологии. для интенсификации газоотдачи земных недр [1, 2]. Эти технологии основаны на общих физических закономерностях передачи потока виброэнергии для целенаправленного изменения свойств обрабатываемых сред. Так, в результате периодически изменения напряжений при вибрационном воздействии между элементами системы возникают упругие взаимодействия, макроскопически воспринимаемые как упрочнение материала при возрастании нагрузки и разупрочнение его при пластическом деформировании в обратном направлении из чего вытекает эффект вибрационного последействия. С возрастанием числа циклов вибрации роль микроупругих эффектов доминирует над эффектом изменения внутреннего трения, величина которого с течением времени стремиться к стабилизации и поэтому в среде весьма существенное

© Минеев А.С., 2011

значение приобретает остаточное пластическое изменение объема – «пластическое разрыхление». Эффективность происходящих в среде изменений, в первую очередь, определяется механизмом передачи волновой энергии по среде с учетом наследуемой циклической деформации. При этом существенное значение имеет проявление диссипативных характеристик среды, сопровождающееся значительным поглощением энергии циклических деформаций, обусловленные демпфированием колебаний. Поэтому одним из важнейших вопросов при разработке вибротехнологий является установление оптимальных параметров вибрационного воздействия для максимального использования динамического эффекта при дезинтегрировании среды. При этом, прежде всего, достигаются максимальные значения напряжений. Поэтому исследуем условия вибрационной обработки геоматериалов, при которых в среде возможна реализация максимума амплитуды напряжений.

Пусть на геоматериалы с определенными физико-механическими свойствами действует вибрационный источник. Будем считать породную среду бесконечной со сферической полостью, к границам которой приложено давление, изменяющееся по гармоническому закону:

$$P = P_0 e^{i\omega t} \qquad (1)$$

где P_0 – амплитуда возмущающего давления; ω– частота вынужденных колебаний; t – время.

Оптимальные параметры вибровоздействия определяются, прежде всего, дисперсией дилатационных волн, которая, в свою очередь, обусловлена геометрическими и физическими особенностями среды. Геометрическая дисперсия появляется при некоторых соотношениях размера объекта с длиной распространения в нем волны. Физическая - связана с воздействием волны на молекулы среды, приводя ее к неравновесному состоянию [3]. Для упругой среды модуль объемного сжатия равен $K^2 = \omega^2/C^{2,}$ (где C – скорость продольных волн) и поэтому $dK/d\omega = const$, т. е. физическая дисперсия будет отсутствовать. Если же внешнему воздействию подвергаются неупругие породы, свойства которых описываются функциональными зависимостями, то дисперсионная зависимость будет функцией от ω [3]:

 ISSN 1562-9945

$$C^{*2} = \frac{1-\nu^*}{\rho\left(1+\nu^*\right)} \quad 3K_0, \tag{2}$$

где K_0 - модуль объемного сжатия, соответствующий мгновенному нагружению; $\nu^*(\omega)$ - оператор Пуассона, устанавливающий функциональную зависимость коэффициента Пуассона от ω.

В связи с этим, рассмотрим типичные случаи вибровоздействия на геоматериалы - когда среда обладает преимущественно упругими или неупругими свойствами. Для этого воспользуемся аналитическим решением задачи о сферическом источнике гармонических волн в упругой среде [4]. Среди всех компонент тензора напряжений реализация эффективного процесса дезинтеграции упругой породной среды связана, в основном, с радиальной компонентой напряжений, которую в упругом пространстве можно описать зависимостью [4]:

$$\sigma_{rr}(r,t) = A(2\mu(\frac{2}{r^3} - \frac{k^2}{r} + i\frac{2k}{r^2}) - \lambda\frac{k^2}{r})e^{-ikr}e^{i\omega t}. \tag{3}$$

Постоянная А в соотношении (3 определяется из граничного условия (1) и имеет вид:

$$A = \frac{P_0 a^3 e^{ika}}{4\mu(1+ika) - (\lambda+\mu)a^2k^2}, \tag{4}$$

где $k = \frac{\omega}{c}$ - волновое число; a – радиус виброисточника; с– скорость продольных волн, равная, $c^2 = \frac{\lambda+2\mu}{\rho}$; ρ - плотность материала; постоянные Ламе λ и μ определяются через модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν зависимостью:

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}; \qquad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}. \tag{5}$$

Для оценки эффективных параметров вибровоздействия исследуем функцию σ_{rr} на экстремум. При этом будем считать, что процесс виброобработки является стационарным (t=0) и $k_* r$ является малой величиной, что не искажает физику волнового процесса. С учетом изложенного на основании зависимости (3) амплитуду радиального напряжения можно записать в виде:

$$\left|\sigma_{rr}(r,\omega)\right| = P_0\left(\frac{a}{r}\right)^3 \frac{12\mu - \omega^2\rho r^2}{4\mu - \omega^2\rho a^2} \quad . \tag{6}$$

О поведении амплитуды напряжений в упругой среде можно судить по знаку производной в окрестности точки $r=a$. Если величина производной (6) положительна, то амплитуда напряжений возрастает вглубь массива:

$$\frac{d}{dr}\left|\sigma_{rr}(r,\omega)\right| = -P_0\frac{a^3}{r^4}\frac{12\mu-\omega^2\rho r^2}{4\mu-\omega^2\rho a^2} > 0. \qquad (7)$$

Условие (7) выполняется, когда:

$$\left.\begin{aligned} 12\mu-\omega^2\rho a^2 > 0 \\ 4\mu-\omega^2\rho a^2 < 0 \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

или

$$\left.\begin{aligned} 12\mu-\omega^2\rho a^2 < 0 \\ 4\mu-\omega^2\rho a^2 > 0 \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Решения системы неравенств (8) и (9) имеют вид:

$$\frac{4\mu}{\rho a^2} < \omega^2 < \frac{12\mu}{\rho a^2} \qquad (10)$$

и

$$\frac{12\mu}{\rho a^2} < \omega^2 < \frac{4\mu}{\rho a^2}. \qquad (11)$$

Неравенство (11) невыполнимо. Следовательно, амплитуда радиальных напряжений $\left|\sigma_{rr}(r,\omega)\right|$ в упругой среде будет превосходить амплитуду напряжений на границе с виброисточника при частотах вынужденных колебаний ω^*, которые удовлетворяют неравенству (10). Максимум ω^* будет достигаться в точке r^*, где (6) обращается в ноль:

$$r^{*2} = \frac{12\mu}{\omega^{*2}\rho}. \qquad (12)$$

В случае неупругой среды исследуем влияние ее дилатационных свойств на распространение гармонических возмущений. Последние характеризуются модулем объемного сжатия, определяющего скорость продольных волн в соотношении (2):

$$K_0 = \frac{E_0}{3(1-2\nu_0)}, \qquad (13)$$

где E_0 и ν_0 – значения модуля упругости и коэффициента Пуассона, соответствующие мгновенному нагружению.

 ISSN 1562-9945

Величина коэффициента Пуассона ν_0 в (13) определяет степень сжимаемости материала: если $\nu_0 \to 0{,}5$ - материал практически несжимаем, при $\nu_0 \to 0$ - имеет идеальную сжимаемость. Рассмотрим поведение амплитуды радиальных напряжений для предельных случаев ν_0.

Если $\nu_0 \to 0{,}5$, то:

$$\lim_{\nu\to 0,5}\lambda = \lim_{\nu\to 0,5}\frac{E\cdot\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} = \infty;$$

$$\lim_{\nu\to 0,5}\mu = \frac{1}{3}E \quad ; \tag{14}$$

$$\lim_{\nu\to 0,5}K = \lim_{\nu\to 0,5}\omega\sqrt{\frac{\rho}{\lambda+2\mu}} = 0.$$

Тогда (6) можно записать в виде:

$$\lim_{\nu\to 0,5}\left|\hat{\sigma}_{rr}(r,\omega)\right| = P_0\left(\frac{a}{r}\right)^3\frac{4\mu-\omega^2\rho r^2}{4\mu-\omega^2\rho a^2}. \tag{15}$$

При $r = a$ $\lim_{\nu\to 0,5}\left|\hat{\sigma}_{rr}(a,\omega)\right| = P_0$. В области $r \neq a$ максимальную частоту вынужденных колебаний ω^* можно определить из условия равенства бесконечности предела (15), т.е. из условия $4\mu - \omega^{*2}\rho a^2 = 0$.

Откуда следует, что ω^* независимо от расстояния от виброисточника будет равно:

$$\omega^{*2} = 4\mu/\rho a^2 . \tag{16}$$

При идеальной сжимаемости материала, когда $\nu \to 0$, имеем:

$$\lim_{\nu\to 0}\lambda = \lim_{\nu\to 0}\frac{E\cdot\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} = 0 \quad ;$$

$$\lim_{\nu\to 0}\mu = \frac{1}{2}E \quad ; \tag{17}$$

$$\lim_{\nu\to 0}K = \lim_{\nu\to 0}\omega\sqrt{\frac{\rho}{\lambda+2\mu}} = \omega\sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad .$$

С учетом (17) из (6) получим:

$$\lim_{\nu\to 0}\left|\hat{\sigma}_{rr}(r,\omega)\right| = P_0\left(\frac{a}{r}\right)^3\sqrt{\frac{\left(2-K^2r^2\right)^2+4K^2r^2}{\left(2-K^2a^2\right)^2+4K^2a^2}}. \tag{18}$$

При $r=a$ выражение (18) соответствует граничному условию $\sigma_{rr}(a,\omega)=P_0$. При $r>a$ $\lim\limits_{\nu\to 0}\left|\hat{\sigma}_{rr}(r,\omega)\right|=\infty$, когда:

$$\left(2-K^2a^2\right)^2+4K^2a^2=0. \qquad (19)$$

Следовательно, критическую частоту вынужденных колебаний ω^* можно определить из условия (19), выразив K через ω в соответствии с выражением (17). В результате получим:

$$4E+a^2\rho\,\omega^{*2}=0. \qquad (20)$$

Уравнение (20) не имеет действительных корней, т. е. когда $\nu \to 0$ не существует такой частоты, которая могла бы доставлять максимальное значение амплитуде радиальных напряжений.

Проведенные исследования амплитуды радиальных напряжений для предельных случаев сжимаемости горной породы позволяют предположить, что для пород, характеризующихся неупругими свойствами, оптимальные параметры вибрационного воздействия рационально устанавливать не по амплитуде радиальных напряжений, а по наиболее информативному параметру, описывающему дисперсию дилатанционных волн в породной среде с учетом функциональных зависимостей свойств пород от частоты вибровоздействия. Таким параметрам может быть отношение средней за период мощности потока энергии через замкнутую поверхность упруго-наследственной среды [5] $<P_r>$ к средней за период мощности потока энергии через поверхность возбуждения в этой среде $<P_\alpha>$, который называется параметром энергопроводности [3]: $Э=<P_r>/<P_a>\cdot(r/a)^2$. При этом, определяющее значение, как следует из проведенных исследований, будет иметь учет оператора Пуассона, устанавливающего взаимосвязь отношения поперечных и продольных деформаций в среде с частотой вибрационного воздействия.

Анализ полученных выражений показывает, что затухание параметра энергопроводности *Э* будет носить плавный характер, при этом энергопроводящая способность смерзшейся геоматериала зависит от частот воздействия, т.е. от параметров оптимального использования многочастотного воздействия.

Таким образом, исходя из анализа закономерностей волнового возмущения смерзшегося геоматериала, можно сделать заключение о

 ISSN 1562-9945

том, что эффективность его виброрыхления базируется на режиме многочастотного вибровоздействия. Этот режим описывается функциональной зависимостью $\omega^* = \omega(r/a)$, которую необходимо устанавливать в соответствии с разработанным в работе алгоритмом расчета с учетом численных значений физико-механических свойств смерзшейся среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потураев В.Н., Минеев С.П., Прусова А.А. О некоторых эффектах, реализуемых в горном массиве при вибровоздействии // Науковий вісник НГА Украіни.- Днепропетровск. - Вип.2. - 1999.- С. 11-14.
2. Минеев С.П., Сахненко А.Л., Обухов С.А. Вибрационное и волновое рыхление агрегированной сыпучей горной массы. - Днепропетровск: Дніпро-Вал, 2005. - 212с
3. Жарий О.Ю., Улитко А.Ф. Введение в механику нестационарных колебаний и волн.- Киев: Вища школа, 1989. – 184 с.
4. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975.- 872 с.
5. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. – М.: Наука, 1977.- 383 с.

УДК 621.86.061(088.8)

О.А. Бейгул, В.Д. Жерначук, А.Л. Лепетова

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛИТКОЗАХВАТНЫХ КЕРНОВ КЛЕЩЕВЫХ КОЛОДЦЕВЫХ КРАНОВ

Аннотация. Разработана технология изготовления слиткозахватных кернов из углеродистой стали путем легирования их рабочих поверхностей порошковым материалом в литейной форме.

Введение. Новая технология изготовления слиткозахватных кернов из углеродистых сталей путем легирования рабочих поверхностей непосредственно в литейной форме позволяет снизить затраты на изготовление, но не дает существенного повышения стойкости кернов. Значительное повышение стойкости достигается за счет многократного восстановления рабочей части кернов. При этом затраты составляют 10–12% расходов на изготовление новых кернов. Предложенный на уровне изобретения способ захвата слитков обеспечивает стесненные условия пластического формоизменения в зоне контакта керна со слитком. Реализация способа достигается предложенной конструкцией керна, позволяющей повысить надежность захвата при существенном уменьшении степени травмирования слитков.

Постановка проблеми. На ряде металлургических предприятий Украины для транспортирования нагретых слитков колодцевыми кранами в качестве рабочих органов клещей применяются призматические керны, у которых рабочая часть выполнена в форме клина. Изготавливаются такие керны, как правило, путем литья из углеродистых сталей. Для увеличения стойкости рабочей части ее наплавляют вручную дуговой сваркой или порошковой проволокой. Срок службы таких кернов составляет от 1,5 до 4 часов. На некоторых заводах керны изготавливают путем литья из жаропрочных сплавов типа Х28Н48В5Л, Х24Н12СЛ, Х25Н10ГМТСЛ. Срок службы таких кернов составляет более 8 часов. При сравнительно высокой стойкости кернов из легированных сплавов требуются значительные затраты

© Бейгул О.А., Жерначук В.Д., Лепетова А.Л., 2011

 ISSN 1562-9945

на их изготавливают. Задача сводится к тому, чтобы при сохранении стойкости рабочей части кернов снизить затраты на их изготовление.

Анализ исследований и публикаций. В работе [1] описана лабораторная установка, на которой исследовано пластическое течение материала слитка при проникновении кернов разного типа. Получены зависимости, определяющие нормальные и тангенциальные усилия при захвате слитков кернами разных типов. Предложена рабочая часть керна в виде вогнутой сферической поверхности, которая позволяет уменьшать глубину проникновения кернов в слиток. Работа [2] посвящена оценке влияния динамических процессов в подъемном механизме колодцевого крана на надежность захвата слитков. В работе [3] выполнено теоретическое исследование динамических процессов в кинематической цепи механизма управления клещами колодцевого крана. В работе [4] представлены результаты экспериментального исследования динамических нагрузок в приводной линии подъема и управления клещами колодцевого крана. Работа [5] носит экспериментальный характер, посвящена разработке мероприятий по повышению надежности механизмов захвата и подъема колодцевого крана.

Нерешенная часть общей проблемы. Из приведенного анализа следует, что в настоящее время не достаточно внимания уделяется технологическому аспекту проблемы, связанному с изготовлением и совершенствованием клещевых устройств.

Цель работы, таким образом, формулируется как разработка новой технологии изготовления слиткозахватных кернов клещевых колодцевых кранов.

Изложение основного материала. Из опыта, эксплуатации колодцевых кранов установлено, что критерием выхода из строя кернов является износ их рабочей части в то время, как корпус и хвостовик пригодны к дальнейшей эксплуатации. Поэтому предлагается технология изготовления кернов из углеродистой стали путем легирования их рабочих поверхностей порошковым материалом непосредственно в литейной форме. В качестве легирующего элемента используется порошок ПР-Н70Х17С4Р4. Первоначально порошок засыпается на дно литейной формы толщиной 15–20 мм, а затем производится заполнение литейных форм расплавленным материалом. Опытная партия кернов, изготовленная по этой технологии, не дала положительных

результатов из-за плохой адгезионной сцепляемости легирующего слоя с основным металлом.

Поэтому была разработана технология изготовления легирующих вставок из порошкового материала указанной марки, которые затем помещались в литейную форму, как показано на рис. 1.

Конфигурация и габаритные размеры вставки приведены на рисунке. Важным фактором при изготовлении вставок является постепенное утолщение их стенок, что в процессе плавления обеспечивает подпитку легирующим компонентом и формирование равномерной толщины легирующего слоя.

Прессование легирующих вставок можно осуществлять на любом прессе. Конструкция прессформы состоит из матрицы 1, пуансона 2 (рис. 2), которые выполнены пустотелыми с отверстиями 5 и 6 соответственно для сушки. Штуцеры 4 служат для подключения хладоагента.

Приготовление смеси для прессования вставок 3 заключается в тщательном смешивании порошка с жидким стеклом. Затем матрица заполняется смесью, которая прессуется с усилием 30–50 кН. Под этим давлением избыток смеси выдавливается в зазор между матрицей и пуансоном, а процесс прессования заканчивается, когда буртик пуансона упирается в корпус матрицы. Под прессом прессформа выдерживается до полного высушивания вставки 3. Затем прессформа разбирается, а готовая вставка извлекается из матрицы. Для полного извлечения вставки чистота поверхности матрицы и пуансона, а также радиусы закругления должны строго соответствовать указанным в документации.

По предложенной технологии с использованием легирующих вставок у заказчика была отлита опытная партия призматических кернов. Приемочные испытания показали удовлетворительную сцепляемость легирующего слоя с основным металлом. Чистота боковых граней рабочей части и острие керна соответствуют предъявляемым требованиям. Твердость легирующего слоя превышает 30HRC.

 ISSN 1562-9945

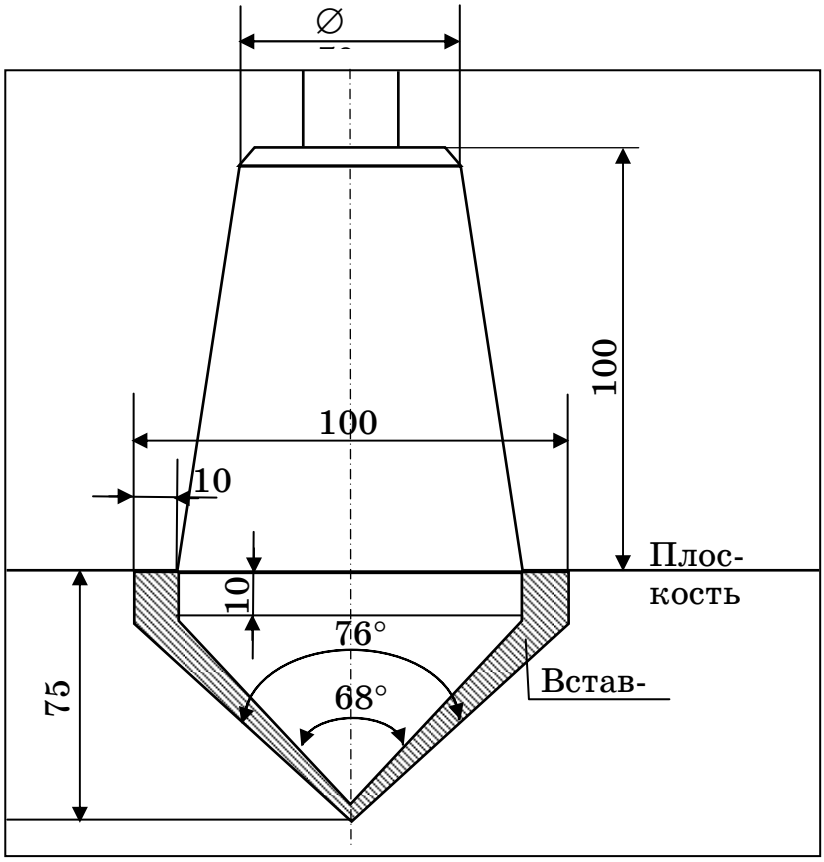


Рисунок 1 – Форма для отливки призматических

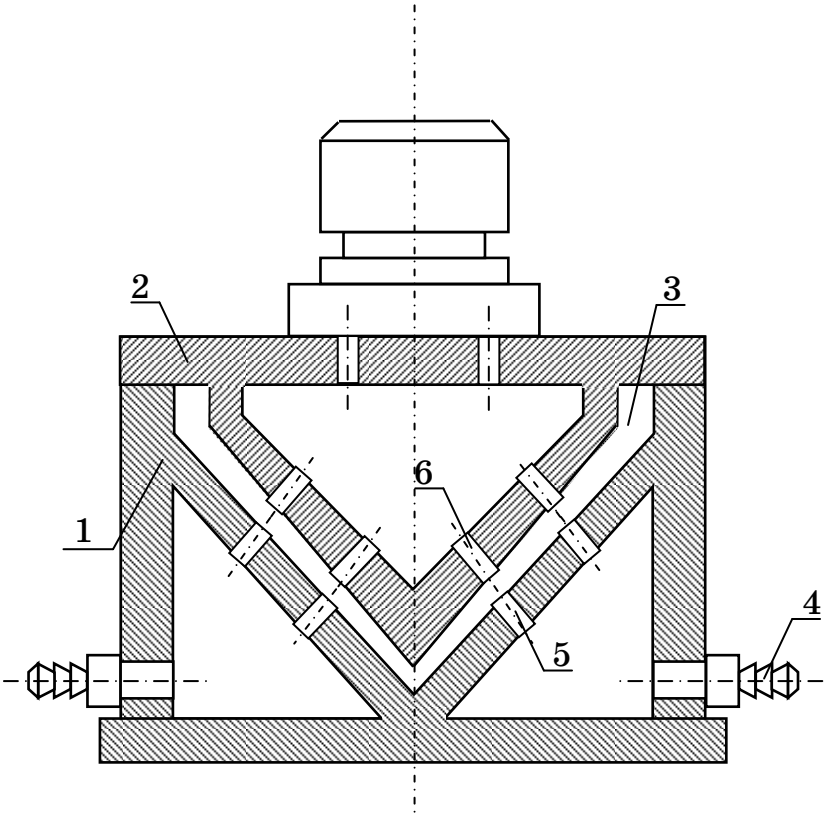


Рисунок 2 – Прессформа для изготовления леги-
рующих вставок призматических кернов

Выводы. Как показали приемочные испытания, отливка кернов из углеродистых сталей путем легирования их рабочих поверхностей непосредственно в литейной форме позволяет существенно снизить затраты на изготовление, открывает перспективы повышения стойкости кернов за счет многократного восстановления рабочей части.

ЛІТЕРАТУРА

1. Леепа И.И. Обоснование типа и рациональных параметров кернов клещевых захватов колодцевых кранов / И.И. Леепа, О.А. Бейгул // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Вип. 1(36). – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2005. – С. 39–52.
2. Медведенко И.Г. Оценка влияния динамических процессов в подъемном механизме колодцевого крана на надежность захвата слитков / И.Г. Медведенко, В.В. Гусар // Известия вузов. Черная металлургия. – М.: Металлургия, 1991. – №4. – С. 96–98.
3. Леепа И.И. Теоретическое исследование динамических процессов в кинема-тической цепи механизма управления клещами колодцевого крана / И.И. Леепа // Вибрации в технике и технологиях. – Днепропетровск. – 2002. – №1(22.) – С. 31–34.
4. Леепа И.И. Экспериментальное исследование динамических нагрузок в приводной линии подъема и управления клещами колодцевого крана грузоподъемностью 32/50 тонн / И.И. Леепа // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Вип. 6(17). – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2001. – С. 82–89.
5. Леепа И.И. Экспериментальное исследование динамических нагрузок на мост и механизм подъема колодцевого крана и разработка мероприятий по повышению его надежности / И.И. Леепа // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Вип. 1(18). – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2002. – С. 38–46.

 ISSN 1562-9945

УДК 621-31

Н.Г. Мороз

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАКТА ЦИФРОВЫХ ГАММА-КАМЕР И ТОМОГРАФОВ

В работе представлена модель электронного тракта цифровой гамма - камеры. Проведено моделирование его работы с помощью программного симулятора Spice. Представленная модель применима для любого количества фотодетекторов различного типа.

Ключевые слова: гамма - камера, томограф, электронный тракт, моделирование в симуляторе Spice.

Введение

Широкое распространение в медицине получила радионуклидная диагностика. Она позволяют врачам диагностировать различные заболевания на самой ранней стадии их проявления и назначать эффективный курс лечения. Приборами для реализации такой диагностики являются гамма-камеры и компьютерные томографы.

Основным узлом для этих устройств можно считать позиционно-чувствительный детектор (ПЧД), который и определяет основные метрологические характеристики гамма-камер и компьютерных томографов. Он выполнен в виде сцинтилляционного кристалла с установленным на нем набором фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). Получение изображения обследуемого органа в таких приборах осуществляется на основе алгоритмов, которые восстанавливают координаты точки поглощения гамма-кванта в кристалле сцинтиллятора. При этом точное восстановление координат сцинтилляции становиться возможным за счет учета баланса интенсивности световых потоков, зарегистрированных группой ФЭУ [1].

Постановка задачи

Задачей настоящего исследования является разработка модели электронного тракта цифрой гамма - камеры и проверка ее работоспособности в программном симуляторе Spice. Актуальность решения данной задачи обусловлена необходимостью создания современной медицинской техники, что предполагает разработку электронных уз-

© Мороз Н.Г., 2011

лов сбора данных. Программное моделирование электроники на этапе проектирования существенно снижает общее время создания новой техники, а так же исключает этап реального макетирования электронных узлов, что в свою очередь, снижает материальные затраты на разработку приборов.

Реализация модели электронного тракта цифровой гамма - камеры

Предлагаемая модель схемы сбора и предварительной обработки информации для семи ФЭУ, установленных на кристалле сцинтилляторе, состоит из семи спектрометрических трактов и представлена на рис. 1.

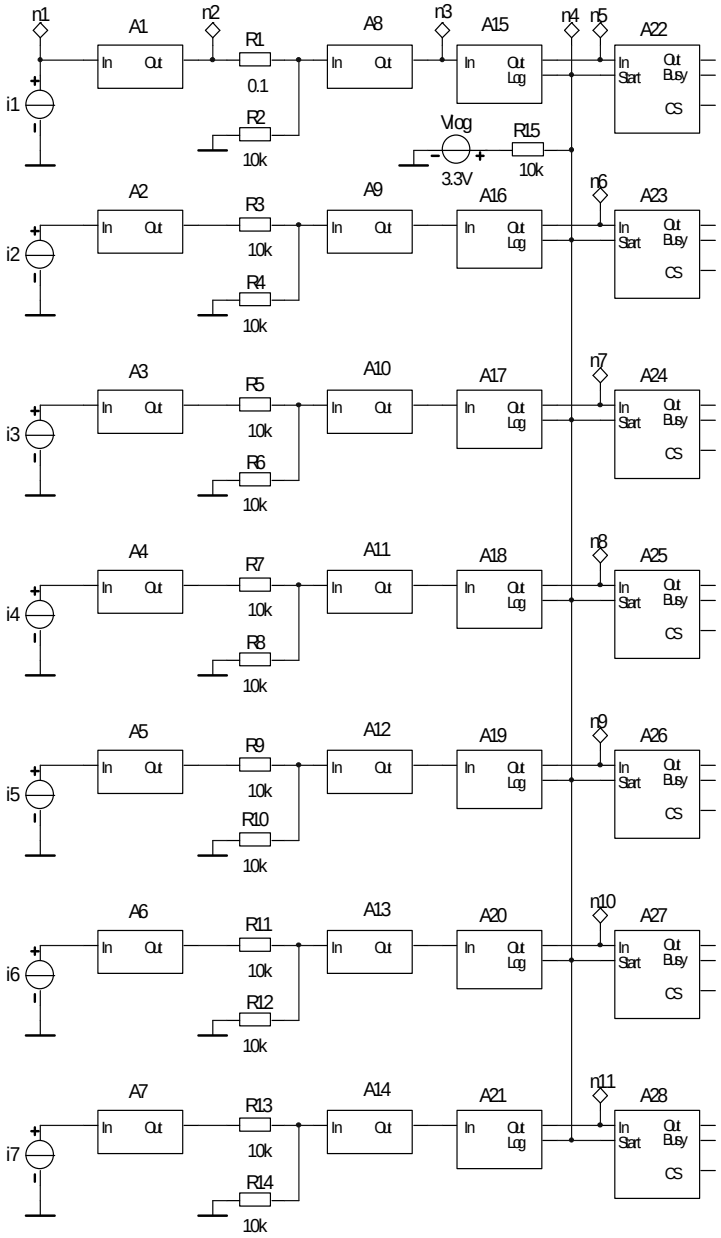


Рисунок 1 – Модель электронного тракта сбора информации цифровой гамма-камеры

 ISSN 1562-9945

В качестве входных сигналов модели используются одинаковые источники тока i1…i7 с кусочно-линейной аппроксимацией формы импульсов, которая получена с помощью программного пакета Geant. Сигналы с каждого ФЭУ обрабатываются усилителями-формирователями [2] (УФ) A1…A7, которые обеспечивают:

– согласование высокого выходного импеданса ФЭУ с последующими каскадами спектрометрического тракта;

– укорачивание спадов сцинтилляционных импульсов с целью уменьшения вероятности их наложений;

– предварительное усиление исходного сигнала.

Результаты моделирования входного и выходного сигналов УФ (контрольные точки n1 и n2 на рис. 1) показаны на рис. 2.

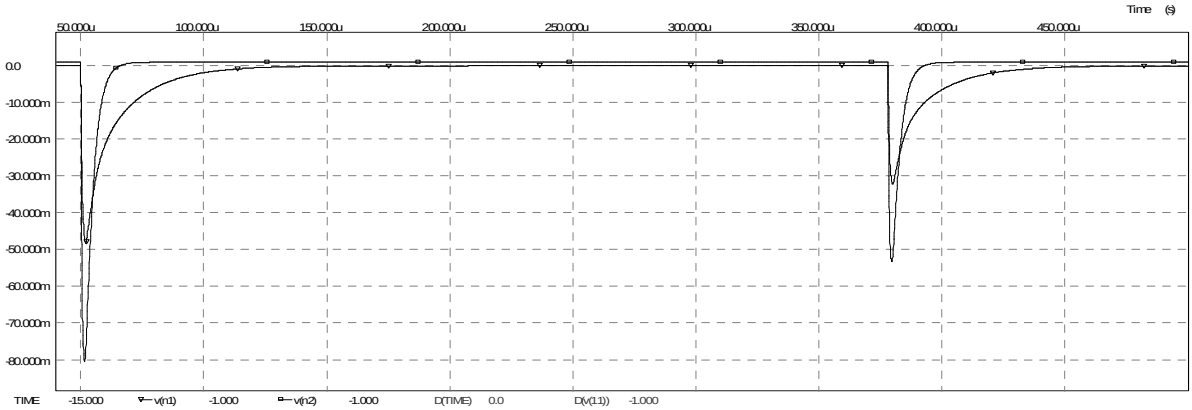


Рисунок 2 – Входной (v(n1)) и выходной (v(n2)) сигналы УФ

Прохождение света через сцинтиллятор и его потери имитируют резистивные цепи R1…R14, как и в работе [1].

Далее сигналы подаются на масштабирующие усилители A8…A14, выполненные по неинвертирующей схеме с регулируемым коэффициентом передачи, с помощью которых осуществляют точную настройку каждого тракта в энергетическую шкалу.

Затем сигналы поступают на входы аналоговых процессоров A15…A21, реализованных на основе аналогового процессора, предложенного в работе [3] и включающих следующие основные узлы – дискриминатор нижнего уровня, пиковый детектор [4] и стабилизатор исходного уровня. Выходные сигналы этих процессоров подаются на аналого-цифровые преобразователи (АЦП) A22…A28, аналоговые сигналы Out – на вход АЦП, а логические Log, объединенные по схеме “монтажное” ИЛИ запускают одновременную оцифровку всех спектрометрических трактов.

Современные гамма - камеры имеют в ПЧД сцинтиллятор большой площади и, следовательно, большое количество ФЭУ. Поэтому фотоприемники, расположенные на одном крае кристалла могут не обнаружить сигнал, зафиксированный ФЭУ установленными на противоположном крае сцинтиллятора. Этим и обусловлен одновременный запуск оцифровки всех спектрометрических трактов.

Объединение сигналов Log по “монтажному” ИЛИ, в данной модели, выполнено на резисторе R15, подключенного к источнику питания логических элементов Vlog.

На рис. 3 приведен результат моделирования работы аналогового процессора A15 (контрольные точки n3, n4 и n5 на рис. 1).

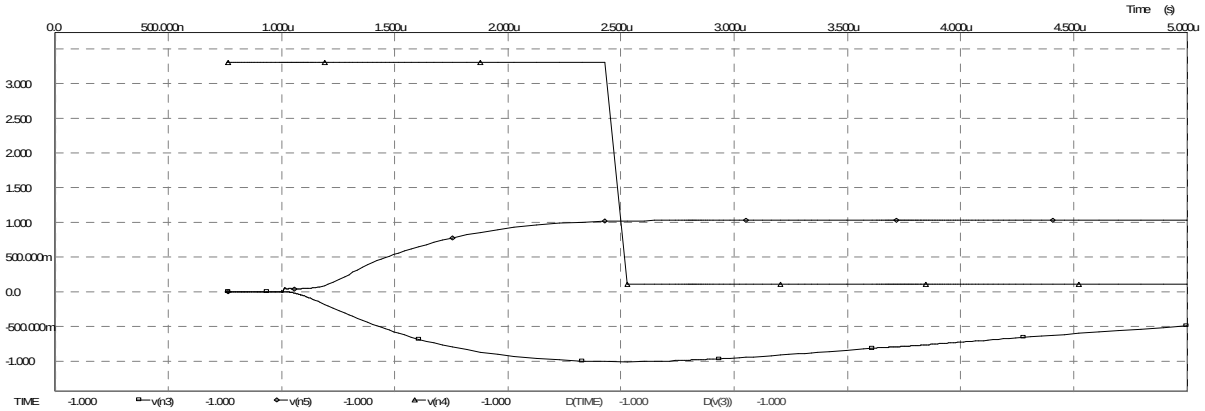


Рисунок 3 – Сигналы v(n3), v(n4) и v(n5) в контрольных точках n3, n4 и n5 соответственно

В программном симуляторе Spice можно получать данные не только в графическом виде, но и в цифровом. Поэтому “работу” АЦП можно представить в табличном виде. На рис. 4 показаны данные оцифровки одного импульса. Такие данные легко транспортируются в математическую среду, например, Mathcad для дальнейшей обработки и уточнения алгоритмов программного обеспечения.

	TIME	v(n5)	v(n6)	v(n7)	v(n8)	v(n9)	v(n10)	v(n11)
214	+52.983u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
215	+52.985u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
216	+52.987u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
217	+52.989u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
218	+52.991u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
219	+52.993u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
220	+52.995u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
221	+52.997u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
222	+52.999u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m
223	+53.000u	+2.798	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m	+927.248m

Рисунок 4 – Цифровые данные моделирования аналогового процессора и АЦП

 ISSN 1562-9945

В приведенной таблице видно, что на время оцифровки напряжение на входе АЦП неизменно, что обеспечивается пиковыми детекторами, входящими в состав аналоговых процессоров. Такое решение позволяет применить интегральные прецизионные АЦП, работающие по алгоритму “последовательного приближения”.

При необходимости использовать число N, получаемое на выходе АЦП, можно воспользоваться следующим выражением:

$$N = \frac{2^n \bullet U}{U_{\max}} \qquad (1)$$

где: N – целое число;

n – разрядность АЦП;

U – напряжение на входе АЦП;

Umax – максимальное напряжение шкалы АЦП.

Выводы. Таким образом, предложенная модель электронного тракта цифровой гамма-камеры или компьютерного томографа, имеющих ПЧД, состоящего из сцинтиллятора и большого количества фотоприемников, обеспечивает проверку правильности принятых схемных решений и расчета номиналов пассивных компонентов. Программное моделирование электроники на этапе проектирования исключает макетирование узлов, что ускоряет разработку новой техники и снижает ее стоимость при постановке на производство. Также предложенная модель может быть легко трансформирована для необходимого количества фотоприемников. Модель не связана напрямую с входными сигналами, получаемыми в программном пакете Geant, что позволяет моделировать ПЧД с различными типами фотоприемников (ФЭУ, фотодиоды и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мьо Ньюнт Вин. Электронные модули системы сбора и обработки данных для цифровых гамма-камер: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.05 “Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления” / Мьо Ньюнт Вин.–М., 2007. – 153 с.
2. Мороз Н. Г. Моделирование аппаратных трактов приборов для физики высоких энергий / Н. Г. Мороз // Деп. в ГНТБ Украины 5.12.05, №86-Ук 2005.
3. Мороз Н. Г. Аналоговый процессор для спектрометра ионизирующих излучений / Н. Г. Мороз // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Випуск 4(69). – Днепропетровск, 2010. – с. 98 – 104.
4. Патент України на корисну модель № 57997 публ. бюл. № 6 від 25.03.11.

УДК 621.867.2.192

О.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, О.І. Білоус, М.Г. Ільченко

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ МІЖЦЕХОВИХ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

Анотація. Розроблено методику визначення показників надійності міжцехових стрічкових конвеєрів на металургійних підприємствах.

Ключові слова: методика, визначення, надійність, міжцеховий стрічковий конвеєр, металургійний завод.

Постановка проблеми. Надійність є основною властивістю машин, яка визначає їх якість. Показники надійності міжцехових стрічкових конвеєрів визначають також їх безпеку, що є важливим для машин металургійного виробництва, яка наразі характеризується значним спрацюванням устаткування та низькими темпами його відновлення. Правильне визначення цих показників необхідне для виявлення резервів працездатності робочого устаткування, а при проектуванні нових технологічних ліній — для прогнозування надійності та довговічності міжцехових конвеєрних систем.

Аналіз досліджень і публікацій. Теоретичному та експериментальному дослідженню надійності та довговічності стрічкових конвеєрів присвячений ряд робіт [1–3].

Невирішена частина загальної проблеми полягає у відсутності належних науково-методичних матеріалів щодо прогнозування надійності міжцехових конвеєрних систем на стадії проектування.

Мета роботи, таким чином, полягає у визначенні показників надійності міжцехових конвеєрів на стадії проектування.

Виклад основного матеріалу. Досвід експлуатації міжцехових стрічкових конвеєрів на металургійних підприємствах показує, що довговічність редукторів і барабанів складає 2–15 років, роликів — 0,3–4 роки. Довговічність стрічки у значній мірі залежить від вантажу, який транспортується, і складає 0,2–4 роки. Отже, надійність роботи конвеєрного транспорту у значній мірі визначається станом стрічки, яка є найбільш коштовною складовою конвеєра: адже її ціна складає

© Бейгул О.О., Лепетова Г.Л., Білоус О.І., Ільченко М.Г., 2011

 ISSN 1562-9945

50–70% усіх втрат на спорудження конвеєра, а експлуатаційні витрати — 20–30% усіх експлуатаційних витрат.

Оскільки конвеєр являє собою складну систему, яка підлягає одночасному впливу великої кількості факторів, характеристики надійності його роботи у часі мають імовірнісний характер.

Для визначення закону розподілу імовірності безвідмовної роботи конвеєра оброблені статистичні дані по експлуатації стрічкових конвеєрів кількох металургійних підприємств України.

На рис. 1 наведені криві розподілу імовірності безвідмовної роботи конвеєрів при транспортуванні різних матеріалів.

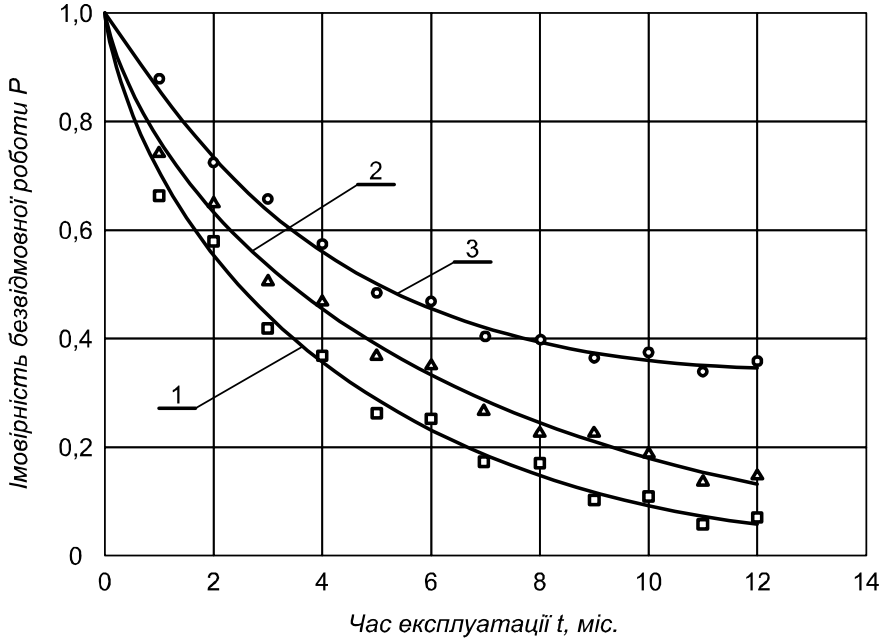


Рисунок 1 – Криві розподілу імовірності безвідмовної роботи конвеєрів у часі $P(t)$ при транспортуванні різних матеріалів:
1 – агломерат; 2 – руда; 3 – кокс

Враховуючи характер графіків рис. 1, імовірність безвідмовної роботи конвеєра описується експоненціальним законом

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}, \qquad (1)$$

де $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи; t – тривалість експлуатації, міс; T_0 – середня тривалість напрацювання до відмови, міс.

Маючи на увазі величину T_0 зі статистичних даних по міжцехових конвеєрах, можна визначити імовірність безвідмовної роботи конвеєра у будь-який момент часу.

На стадії проектування конвеєрних систем важливо установити залежність надійності системи від її конструктивних особливостей та умов експлуатації.

Середня тривалість напрацювання до відмови T_0 являє собою функцію багатьох параметрів:

$$T_0 = f\,(Q,\ \upsilon,\ L,\ B,\ n,\ \sigma_л,\ M,\ P,\ H,\ C,\ Ч_р,\ C_ф), \qquad (2)$$

де Q – продуктивність конвеєра, кг/с; υ – швидкість стрічки, м/с; L – відстань, на яку транспортується матеріал, м; B – ширина стрічки, м; n – число прокладок стрічки; $\sigma_л$ – характеристика стрічки в залежності від міцності при розтяганні та згинанні, Па; M – характеристика матеріалу, який транспортується, м; P – кількість роликів; H – висота падіння матеріалу на стрічку, м; C – кількість стиків стрічки; $Ч_р$ – кількість ремонтів; $C_ф$ – параметр, який враховує режим та умови експлуатації конвеєра.

Розроблена методика розглядає залежність середнього напрацювання стрічок до відмови від швидкості транспортування υ, довжини конвеєра L, продуктивності Q та кількості прокладок n для різних матеріалів, які транспортуються.

На рис. 2 наведено графік залежності середнього напрацювання до відмови від відношення довжини конвеєра до швидкості транспортування.

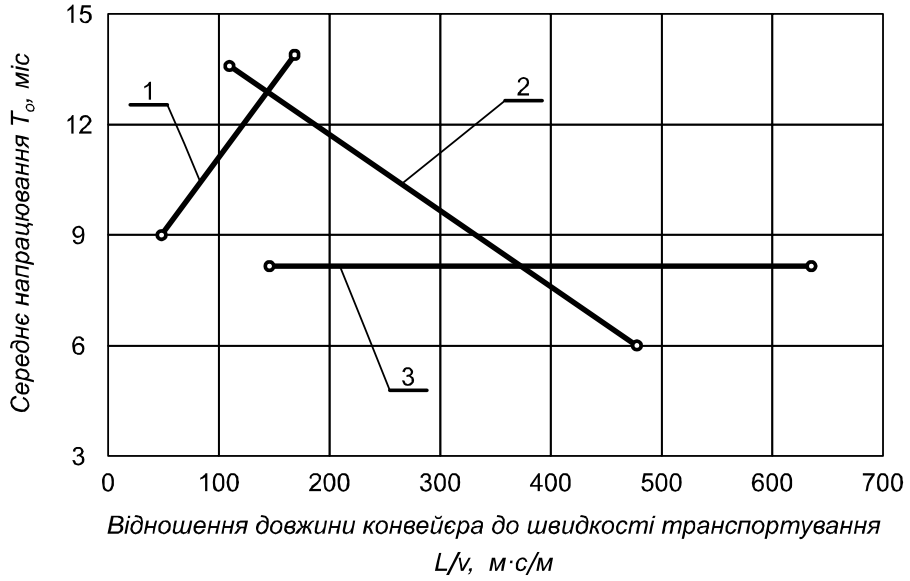


Рисунок 2 – Залежність середнього напрацювання стрічки до відмови T_0 від відношення довжини конвеєра до швидкості транспортування L/υ при транспортуванні різних матеріалів:
1 – рудний концентрат; 2 – агломерат; 3 – аглошихта

 ISSN 1562-9945

Як видно з рис. 2, час напрацювання T_0 стрічки істотно залежить від матеріалу, який транспортується. При транспортуванні рудного концентрату (крива 1) відмови стрічки спостерігаються в основному при неусталеному режимі завантаження, зі збільшенням довжини конвеєра та зменшенні швидкості транспортування напрацювання стрічки збільшується. При транспортуванні агломерату (крива 2) кількість відмов стрічки у момент завантаження не істотна і збільшується в процесі транспортування, тому зі зростанням відношення L/v напрацювання стрічки зменшується. При транспортуванні аглошихти (крива 3) кількість відмов стрічки практично постійна у момент завантаження та у процесі транспортування, тому напрацювання стрічки не залежить від відношення L/v.

На рис. 3 наведена залежність середнього напрацювання стрічки до відмови T_0 від кількості прокладок стрічки. Як це виходить з рис. 3, зі збільшенням кількості прокладок час напрацювання стрічки T_0 зростає. Наведена залежність отримана для конвеєрів, які транспортують агломерат.

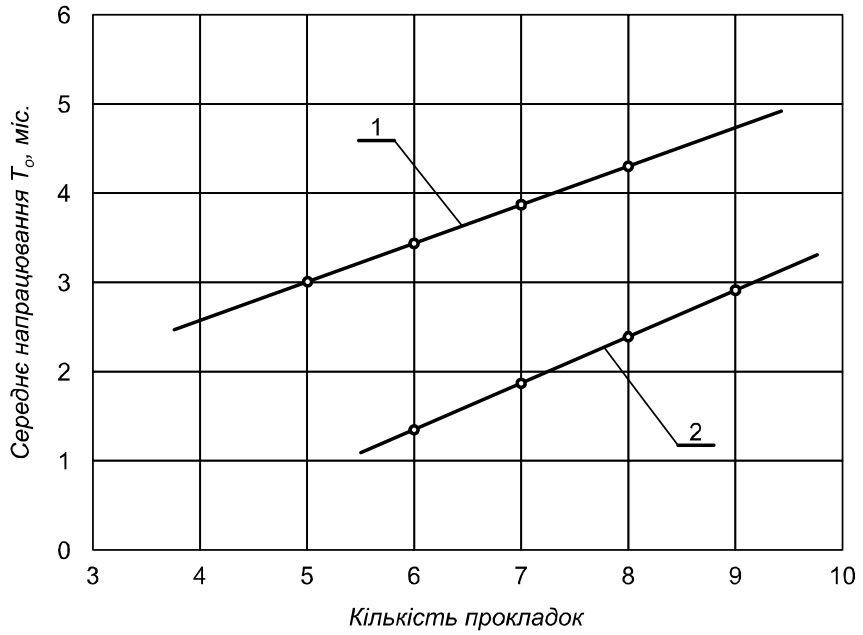


Рисунок 3 – Залежність середнього напрацювання до відмови T_0 від кількості прокладок n: 1 – капронова стрічка;
2 – бавовняна прогумована стрічка

На рис. 4 показана залежність напрацювання стрічки до відмови від продуктивності конвеєра. Графік отримано шляхом обробки статистичних даних по конвеєрах, які транспортують кокс.

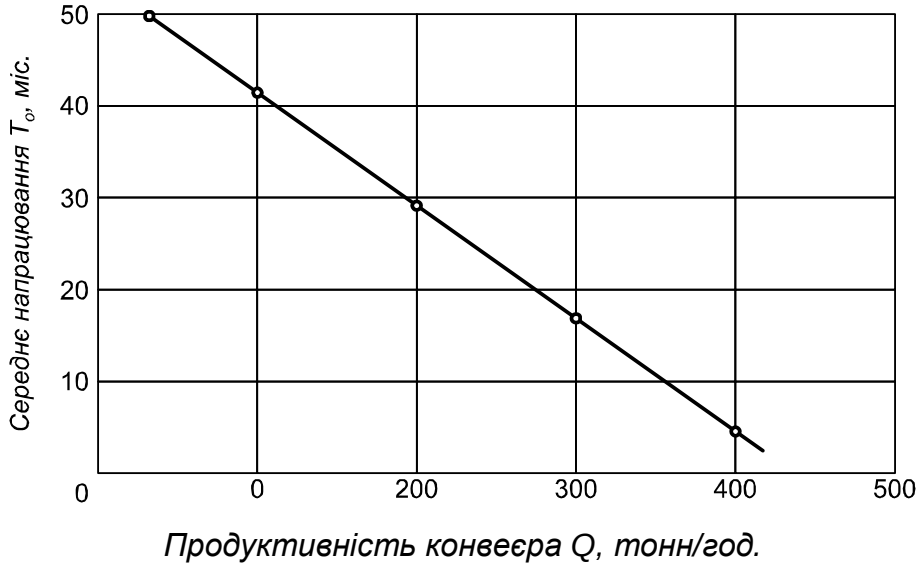


Рисунок 4 – Залежність середнього напрацювання стрічки до відмови T_0 від продуктивності конвеєра Q

У результаті проведених досліджень отримані емпіричні залежності для конкретного типу конвеєрів. Так, для конвеєрів продуктивністю 400 тонн/год. та менше, які транспортують кокс, напрацювання стрічки може бути виражене залежністю

$$T_0 = (52 - 0,113Q)\, n/7\,, \qquad (3)$$

де Q – продуктивність конвеєра, тонн/год.; n – кількість прокладок у стрічці.

Для конвеєрів продуктивністю 100 тонн/год., які транспортують агломерат, напрацювання на відмову дорівнює

$$T_0 = \left(18 - 0,022\frac{L}{v}\right) n/7\,, \qquad (4)$$

де L – довжина конвеєра, м; v – швидкість транспортування, м/с; n – кількість прокладок у стрічці.

Висновок. Таким чином, розроблено науково-методичну основу визначення показників надійності міжцехових стрічкових конвеєрів на металургійних підприємствах, яка дозволяє оцінювати на стадії проектування надійність конвеєрних систем в залежності від швидкості транспортування, довжини конвеєрів, їх продуктивності та кількості прокладок у стрічках.

 ISSN 1562-9945

ЛІТЕРАТУРА

1. Бельмас І.В. Напружений стан гумового прошарку гумотканевої стрічки / І.В. Бельмас, І.Т. Сабурова // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2003. – №2 (6). – С. 88–95.
2. Мониторинг состояния технологического оборудования и ресурсные диагностические модели / [С.В. Белодеденко, В.Ю. Богдан, Е.И. Хребито, А.В. Ларионцев] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск: Промінь, 2007. – №6. – С. 94–98.
3. Білоус О.І. Гнучкі тягові органи у машинобудуванні. Вплив відхилення форми робочої поверхні барабана від циліндра / О.І. Білоус – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2010. – 124 с.

УДК 004-93

Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ БИНАРИЗАЦИИ СНИМКОВ ОТПЕЧАТКОВ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЯРКОСТИ И КОНТРАСТА

Аннотация. Рассмотрена модель усиления яркости и контраста, благодаря применению которой достигается повышение достоверности бинаризации RGB снимков отпечатков поверхности покрытий на металлической подложке, которая проводится с целью дальнейшего определения пористости образцов.

Введение. При создании новых покрытий металлов важной характеристикой является их пористость, которая оказывает существенное влияние на коррозионную стойкость покрытия. Для вычисления пористости покрытия металла существуют различные способы, среди которых хотелось бы выделить метод наложения, который является достаточно простым, но в то же время и наиболее часто используемым.

Суть метода заключается в наложении на поверхность покрытия фильтровальной бумаги, смоченной специальным раствором. В результате этого на бумаге формируется отпечаток поверхности покрытия металла. После снятия бумаги с отпечатками пор в виде точек или пятен ее промывают дистиллированной водой, просушивают на чистом стекле и осуществляют вычисление пористости на основе визуального анализа [1]. Достоинством данного метода является низкая стоимость проведения эксперимента и минимальные требования к наличию специального оборудования.

К существенным недостаткам следует отнести необходимость «ручного» подсчета числа пор, что в случае их большого количества и маленьких размеров делает этот процесс достаточно трудоемким. Решение задачи может осложняться наличием размытых областей на отпечатке, что приводит к снижению точности оценки.

© Ахметшина Л.Г., Егоров А.А., 2011

 ISSN 1562-9945

Актуальность исследований. Для автоматизации процесса определения пористости методом наложения важным шагом является бинаризация снимка отпечатка поверхности покрытия на металлической подложке, который, как правило, является цветным изображением. При решении этой задачи необходимо определить граничный уровень яркости, на основании которого будет проведено разделение на поры и фон. Однако при формировании снимка отпечатка поверхности покрытия на нем могут возникнуть низкоконтрастные области, которые, как и размытые фрагменты, снижают точность разделения.

Одним из способов повышения достоверности выявления пор является предшествующее бинаризации усиление яркости и контраста исходного изображения. Для эффективного решения поставленной задачи к используемым для этого методам выдвигаются следующие требования: адаптивность, минимальное количество (в идеальном случае их не должно быть вообще) управляющих параметров, что важно для снижения временных затрат при их настройке, отсутствие цветовых искажений (чтобы избежать неправильной идентификации пор и фона). Традиционные методы повышения яркости и контраста (гамма-коррекция, эквализация гистограммы, адаптивная эквализация гистограммы, растяжение контраста [2]) не удовлетворяют ряду вышеперечисленных требований.

В работах [3, 4] были предложены адаптивные методы повышения яркости, гистограммной коррекции и пространственного контрастирования, которые базируются на применении степенных преобразований и статистических характеристиках как изображения в целом, так и его окон (неперекрывающиеся фрагменты одинакового размера) каждого цветового канала исходного снимка и удовлетворяют всем вышеперечисленным требованиям.

Постановка задачи. В данной статье рассматривается модель усиления яркости и контраста на базе применения адаптивных методов [3, 4] для повышения достоверности выявления пор при бинаризации снимков отпечатков поверхности покрытий на металлической подложке.

Результаты исследований. Суть метода адаптивного повышения яркости, позволяющего выполнить ее автоматическую оценку, на основе которой принимается решение о необходимости выполнения этой операции, заключается в автоматическом пропорциональном по-

вышении интенсивности обрабатываемого изображения и содержит пять этапов.

1. Производится автоматическая оценка яркости V каждого цветового канала:

$$V = \sum_{j=1}^{N_w} \left((I)^{1-\upsilon_j} - (I)^{\frac{\bar{i}_j + I}{2}} \right), \tag{1}$$

где $I = \left(\bar{I} + 0.5\right)/2$, $\bar{i}_j$ – средняя яркость j-го окна; N_w – количество окон, зависящее от размеров окна; $\bar{I}$ – средний уровень яркости выбранного цветового канала, а υ_j – оценка уровня яркости j-го окна, вычисление которой происходит так:

- если $N_{i1} > 0$ (количество пикселей j-го окна, уровень яркости которых не меньше, чем i_j) и $i_j^1 \neq 0$, то:

$$\upsilon_j = \left(i_j\right)^{\left(1-\mathrm{sgn}\left(i_j^1 - i_j^2\right) * \frac{\min\left(i_j^1, i_j^2\right) * \bar{i}_j}{\max\left(i_j^1, i_j^2\right)}\right)^{1+\mathrm{sgn}\left(i_j^1 - i_j^2\right) * \bar{i}_j}}; \tag{2}$$

- если $N_{i1} > 0$ и $i_j^1 = 0$, то $\upsilon_j = \left(i_j\right)^{1+\bar{i}_j^{1+\bar{i}_j}}$; (3)

- если $N_{i1} = 0$, то $\upsilon_j = \left(i_j\right)^{1-\bar{i}_j^{1-\bar{i}_j}}$, (4)

где $i_j^1 = \bar{i}_j^1 * \left(1 - \frac{N_{i1}}{N_p}\right)$, $i_j^2 = \bar{i}_j^2 * \frac{N_{i1}}{N_p}$, $i_j = \left(\bar{i}_j + I\right)/2$, а N_p – количество пикселей окна. Если для всех цветовых каналов значение $V \geq 0$, то повышение яркости для изображения не выполняется.

2. Выполняется пропорциональное повышение яркости каждого окна:

$$w_{x,y}^2 = \left(w_{x,y}^1\right)^{1-p_{x,y}^1}, \tag{5}$$

где $w_{x,y}^1$ и $w_{x,y}^2$ – пиксели с координатами x, y текущего окна входного и выходного изображений для этого шага алгоритма, соответственно; $p_{x,y}^1$ вычисляется по формулам:

$$p_{x,y}^1 = \left(\left(\left(w_{x,y}^1\right)^{\max\left(p_{x,y}^2, 1-p_{x,y}^2\right)} + \left(1 - w_{x,y}^1\right)^{\max\left(i_{w1}, 1-i_{w1}\right)} \right) / 2 \right)^{1+p_{x,y}^3}, \tag{6}$$

$$p_{x,y}^2 = p_{x,y}^3 - \min_{p3}, \tag{7}$$

 ISSN 1562-9945

$$p^3_{x,y} = \mathrm{sgn}\left(p^4_{x,y}\right) * \left|p^4_{x,y}\right|^{1-p^4_{x,y}} + \mathrm{sgn}\left(V\right) * \left|V\right|^{1-V}, \quad (8)$$

$$p^4_{x,y} = \left(w^1_{x,y}\right)^{1-w^1_{x,y}} - \left(i_{w1}\right)^{1-i_{w1}}, \quad (9)$$

причем $i_{w1} = \left(0.5 + \max_{w1}/2 + \bar{i} + \bar{I}\right)/4$; $\min_{p3}$, $\max_{w1}$ – минимальное и максимальное значения по матрицам p^3 и w^1, соответственно; $\bar{i}$ – среднее значения по текущему окну входного для этого этапа изображения.

3. Осуществляется пропорциональное изменение яркости всех пикселей каждого окна:

$$w^3_{x,y} = \left(w^2_{x,y}\right)^{\left(1-\mathrm{sgn}\left(p^{aft}_{x,y}\right)*\left|p^{aft}_{x,y}\right|^{1+p^{aft}_{x,y}}\right)}, \quad (10)$$

$$p^{aft}_{x,y} = \left(i_{w2}\right)^{1-i_{w2}} - \left(w^2_{x,y}\right)^{1-w^2_{x,y}}, \quad (11)$$

В зависимости от статистических характеристик окна яркость его пикселей может быть, как повышена, так и понижена, что необходимо для корректировки результатов предыдущего этапа.

4. Для выполнения окончательной корректировки уровня яркости выбранного цветового канала в целом производится следующее преобразование:

$$\text{если } \mathrm{sgn}\left(P_1\right) < 0, \text{ то } I^2_{x,y} = \left(I^1_{x,y}\right)^{\left(1-P_1*\left(P_1\right)^{\left(I^1_{x,y}+\min\left(I,1-I\right)\right)/2}\right)}, \quad (12)$$

$$\text{иначе } I^2_{x,y} = \left(I^1_{x,y}\right)^{\left(1+P_1*\left(P_1\right)^{\left(\left(I^1_{x,y}+\max\left(I,1-I\right)\right)/2\right)^{1+\bar{I}-I^1_{x,y}}}\right)}, \quad (13)$$

где $I^1_{x,y}$ и $I^2_{x,y}$ – пиксели с координатами x, y входного и выходного изображений для этого шага алгоритма, соответственно; $P_1 = \left|P_2\right|^{1+P_2}$, $P_2 = 0.5^{1-I} - 0.5^{1-\bar{I}}$.

5. Этот шаг выполняется только для цветовых каналов исходного изображения, для которых на 1-ом этапе было получено значение $V \geq 0$, что свидетельствует о необходимости проведения корректирующего понижения яркости, выполняемого следующим образом:

$$I^3_{x,y} = \left(I^2_{x,y}\right)^{1+\left(\min\left(P_d,1-P_d\right)-V^2+V^1\right)/2}, \quad (14)$$

причем $P_d = \min\left(V^1, V^2\right) / \max(V^1, V^2)$; V^1 и V^2 – автоматические оценки яркости выбранного цветового канала изображений I^1 и I^2, соответственно.

Метод адаптивного пространственного контрастирования обеспечивает повышение контраста на определенных участках изображения, сохраняя уровень интенсивности его высококонтрастных фрагментов, и состоит из 3-ех шагов.

1. Каждое окно входного изображения подвергается следующему преобразованию:

$$w^2_{x,y} = (w^1_{x,y})^{\left(1-k_{x,y}*w^1_{x,y}\right)}, \tag{15}$$

$$k_{x,y} = 10^{\left(\lg\left(\bar{i}^{\bar{i}}\right)+w^1_{x,y}-\bar{i}\right)} \tag{16}$$

В результате выполнения преобразования (15) для каждого пикселя текущего окна происходит сдвиг его уровня яркости к значениям 1 либо 0 в зависимости от коэффициента $k_{x,y}$, который вычисляется на основе интенсивности пикселя и среднего значения интенсивности окна, что и обеспечивает повышение контраста.

2. Возможны ситуации, когда преобразование (15) приводит к чрезмерному сдвигу яркости пикселя, компенсация которого и выполняется на этом шаге путем применения следующего преобразования к каждому окну изображения:

$$w^3_{x,y} = \left(w^2_{x,y}\right)^{\left(p^1_{x,y}\right)^{P^1_{x,y}}}, \tag{17}$$

$$p^1_{x,y} = \left|\left(p^2_{x,y}\right)^{p^2_{x,y}} + \operatorname{sgn}\left(\bar{i} - 0.5 * \max_{w2}\right) * \left(\bar{i}^{\bar{i}} - 0.5 * \max_{w2}\right)\right|, \tag{18}$$

где $p^2_{x,y} = \left(1 - w^2_{x,y}\right)^{1-\bar{i}}$, $\max_{w2}$ – максимальное значение яркости в окне w^2.

3. Осуществляется управляемая коррекция интенсивности пикселей полученного изображения с использованием статистических характеристик текущего окна и выбранного цветового канала в целом, для чего каждое окно подвергается такому преобразованию:

$$w^4_{x,y} = \left(w^3_{x,y}\right)^{\left(\left(1-\bar{I}\right)^{\bar{I}} + P_{add} + \left(\bar{i}\right)^{w^3_{x,y}}\right)}, \tag{19}$$

причем P_{add} выбираться на основе автоматической оценки яркости,

 ISSN 1562-9945

причем отрицательные значения приводят к повышению яркости, а положительные – к уменьшению.

Метод адаптивной гистограммной коррекции, состоящий из трех этапов, заключается в расширении диапазона яркости каждого цветового канала изображения, которое основано на использовании его гистограммы, что приводит к повышению контраста, а также обеспечивает некоторое повышение его яркости.

1. Если выполняется условие: $\min_0 \neq \max_0$, (20)

где $\min_0$ и $\max_0$ – значения минимального и максимального уровней яркости текущего окна, то над его гистограммой выполняется преобразование, обеспечивающее пропорциональное повышение яркости всех его пикселей, что также приводит к одновременному повышению контраста:

$$h_j^2 = \left(h_j^1\right)^{1-\operatorname{sgn}\left(h_j^1 - i_h\right)*\left(d_j\right)^{\left(h_j^1\right)^{d_j}}}, \quad (21)$$

где h_j^1, h_j^2 – это элементы вектора уровней интенсивности, содержащиеся в гистограмме текущего окна входного и выходного для этого этапа изображений, соответственно; $d_j = \dfrac{\left|h_j^1 - i_h\right|^{1-\left|h_j^1 - i_h\right|}}{\max\left(i_h, 1 - i_h\right)^{1-\max\left(i_h, 1-i_h\right)}}$;

$i_h = \left(\overline{i_h}\right)^{1-\operatorname{sgn}(d_1)*\left|d_1\right|^{\left(\overline{i_h}\right)^{\left|d_1\right|}}}$; $d_1 = 0.5^{1-i} - 0.5^{\bar{i}}$; $\overline{i_h}$ – среднее по вектору h^1, а $i = \left(\bar{i} + 0.5\right)/2$. Если же условие (20) не выполняется, то вектор h^2 формируется следующим образом:

$$h_j^2 = h_j^1 - \min_1 + \min_0, \quad (22)$$

причем $\min_1$, когда $\min_0 \neq 0$ вычисляется так:

$$\min_1 = \left(\min_0\right)^{1+\left(d_{\min}\right)^{\left(\min_0\right)^{d_{\min}}}}, \quad (23)$$

$d_{\min} = \left(\left|\bar{i} - \min_0\right|^{1-\left|\bar{i} - \min_0\right|}\right) / i_{\max}$, а $i_{\max} = \max\left(\bar{i}, 1 - \bar{i}\right)^{1-\max\left(\bar{i}, 1-\bar{i}\right)}$, иначе $\min_1 = 0$.

2. Для каждого окна входного для этого этапа изображения при выполнении условия $r > 1$, где r вычисляется следующим образом:

$$r = \left(\max_1 - \min_1\right) / \left(h_{\max}^2 - h_1^2\right), \quad (24)$$

причем $h^2_{\max}$ и h^2_1 – первый и последний элементы вектора h^2, а $\max_1$, когда $\max_0 \neq 1$, определяется по формуле:

$$\max_1 = \left(\max_0\right)^{1-\left(d_{\max}\right)^{\left(\max_0\right)^{d_{\max}}}}, \qquad (25)$$

где $d_{\max} = \left(\left|\bar{i} - \max_0\right|^{1-\left|\bar{i}-\max_0\right|}\right) / i_{\max}$, а в противном случае – $\max_1 = 1$, производится масштабированное расширение гистограммы этого окна:

$$h^3_j = h^2_j * r^2 - h^2_1 * \left(r^2 - 1\right) / 2, \qquad (26)$$

3. Все уровни яркости пикселей текущего окна меняются на соответствующие им уровни яркости, содержащиеся в векторе h^3 (или h^2, если второй шаг был пропущен), в результате чего и формируется выходное изображение.

В данной работе предлагается модель повышения яркости и контраста фотографических изображений, состоящая из следующих этапов.

1. К исходному изображению после масштабирования всех его цветовых каналов на отрезок [0..1] применяется метод адаптивного повышения яркости.

2. Если на 1-ом шаге было выполнено повышение яркости, то к полученному изображению применяется метод адаптивной гистограммной коррекции.

3. Для изображения, полученного после предыдущих шагов, применяется метод адаптивного пространственного контрастирования.

4. К изображению, полученному после 3-го шага, применяется метод адаптивной гистограммной коррекции.

5. На последнем этапе происходит формирование выходного изображения путем слияния изображений, полученных в результате выполнения двух предыдущих шагов, осуществляемого следующим образом:

$$I^5_{x,y} = \left(0.5 - \Delta_1\right) * I^4_{x,y} + \left(0.5 + \Delta_1\right) * I^3_{x,y}, \qquad (27)$$

$$\Delta_1 = \operatorname{sgn}\left(\Delta_2\right) * \left|\Delta_2\right|^{1-\left|\Delta_2\right|}, \qquad (28)$$

где $I^3_{x,y}$, $I^4_{x,y}$ и $I^5_{x,y}$ пиксели с координатами x, y выбранного цветового канала для выходного изображения 3-го, 4-го и 5-го шагов, соответ-

 ISSN 1562-9945

ственно; Δ_2 – разность средних значений по выбранному цветовому каналу выходных изображений для 3-го и 4-го этапов.

В результате проведения экспериментов размерность окон при применении методов адаптивного повышения яркости и пространственного контрастирования была выбрана равной 3x3 пикселей, а при использовании метода адаптивной гистограммной коррекции – совпадающей с размерностью изображения.

После повышения яркости и контраста выполняется бинаризация изображения на основе разделения по уровню яркости, которая осуществляется следующим образом:

1. Если исходный снимок – цветной, то выполняются следующие действия, в результате чего формируется полутоновое изображение:

- для всех пикселей, значение интенсивности которых в наиболее информативном цветовом канале не превышает значения T_1, выбор итогового значения яркости происходит на основе минимального из значений интенсивностей для каждого из цветовых каналов, причем T_1 вычисляется следующим образом:

$$T_1 = \left(\overline{I} / 2 + \overline{I_1}\right) / 2, \tag{29}$$

где $\overline{I_1}$ – среднее по тем интенсивностям пикселей, значения которых не превышают $\overline{I}$ (среднее значение) для наиболее информативного цветового канала;

- для пикселей, значение яркости которых не удовлетворяет вышеуказанному условию, выбор итогового значения интенсивности происходит на основе среднего по значениям яркостей для каждого из цветовых каналов;

- для каждого пикселя полутонового изображения I^1, полученного после выполнения предыдущих шагов, выполняется следующее преобразование, позволяющее улучшить разделение между порами и фоном:

$$I^2_{x,y} = \left(I^1_{x.y}\right)^{1-T_1+I^1_{x,y}}, \tag{30}$$

в результате чего формируется итоговое полутоновое изображение I^2.

2. Выполняется бинаризация полутонового изображения I^2 с использованием порога T_2 (29).

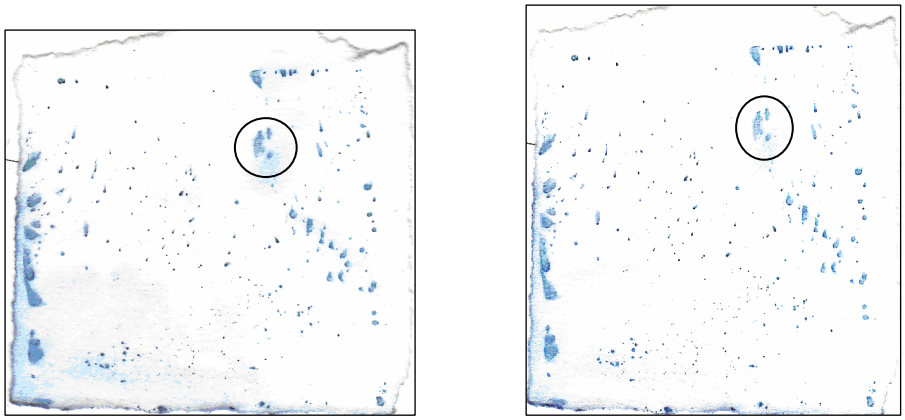
В качестве наиболее информативного цветового канала в большинстве случаев рекомендуется выбирать красный.

Экспериментальные результаты были получены при обработке различных RGB снимков отпечатков поверхности покрытий на металлической подложке, полученных с целью вычисления пористости методом наложения, примеры которых представлены на рис. 1 а и рис. 3 а. Отпечаток поверхности покрытия, приведенный на рис 3 а, не был в достаточной мере промыт дистиллированной водой, что привело к возникновению зеленоватого фона (к сожалению, невидимый на рисунке) и потребовало в процессе бинаризации в качестве наиболее информативного выбирать зеленый цветовой канал вместо красного (как это было сделано для изображения на рис. 1 а).

Снимок, представленный на рис. 1 а, содержит размытия (слева и в правой верхней части изображения), примером чего является фрагмент, обведенный кружочком, который в увеличенном виде приведен на рис. 2 а. В результате повышения яркости и контраста исходного снимка (рис. 1 а) на основе применения предложенной в этой статье модели было получено изображение (рис. 1 б), на котором проблемных областей стало существенно меньше, в частности, размытие во фрагменте, обведенном кружочком, было удалено. В процессе бинаризации исходного изображения большая часть размытия в выделенной области была ошибочно интерпретирована в качестве пор (рис. 2 б). В то же время бинаризация обработанного изображения позволила повысить точность выявления пор в выделенном фрагменте (рис 2 в). В целом же после бинаризации для снимка, представленного на рис. 1 а, было получено на 15% больше черных пикселей, чем для изображения, приведенного на рис. 1 б.

Снимок, представленный на рис. 3 а, содержит небольшие размытия (верхняя часть изображения), а также отпечатки пор, которые трудноотличимы от фона, примером чего может служить фрагмент, обведенный кружочком. На рис. 4 а представлены результаты повышения яркости и контраста у исходного снимка (рис. 3 а). При сравнении гистограмм этих изображений (рис. 3 б и 4 б) становится очевидным, что в результате обработки максимум сдвинулся с 0.7-0.8 на 0.8-0.9, что свидетельствует о повышении яркости, а расширение пика гистограммы – о повышении контраста.

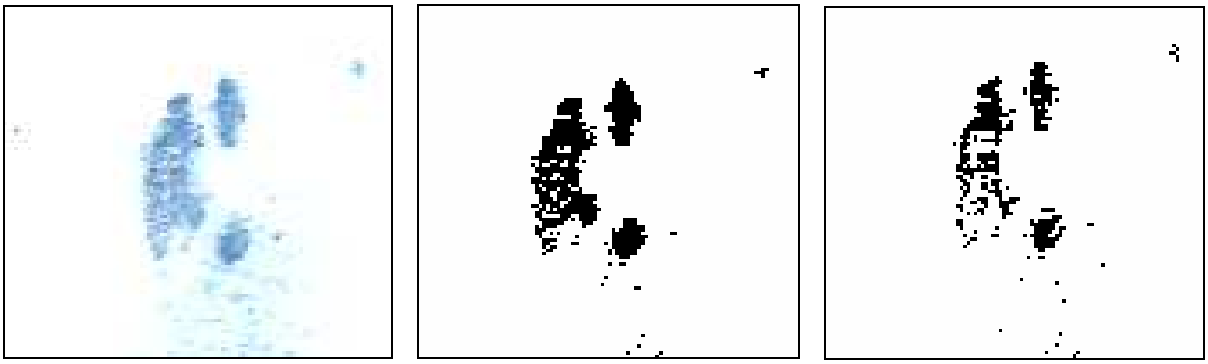
 ISSN 1562-9945



а б

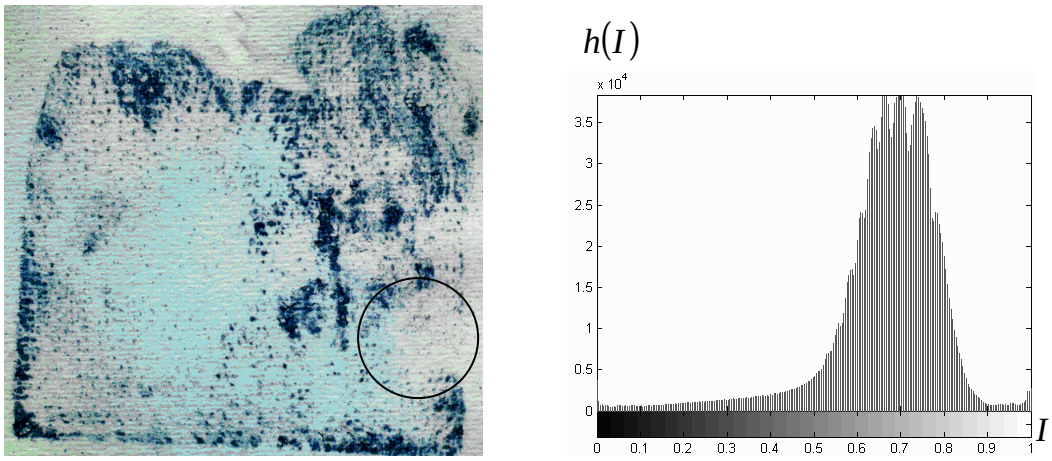
Рисунок 1 - Повышение яркости и контраста исходного RGB снимка: а – исходное изображение; б – результат обработки

В процессе бинаризации фрагмента изображения, представленного на рис. 5 а (область на рис. 3 а, обведенная кружочком, в увеличенном виде), большинство из трудноразличимых пор не было выделено (рис. 5 б). В то же время бинаризация этого же фрагмента у обработанного изображения, приведенного на рис. 4 а, позволила выделить существенно большее количество трудноразличимых пор (рис. 5 в). В целом же после бинаризации для снимка, представленного на рис. 3 а, было получено на 8% меньше черных пикселей, чем для изображения, приведенного на рис. 4 а. Небольшой процент различия можно объяснить более точным выявлением пор в области размытия, что привело к уменьшению количества черных пикселей. В то же время повышение точности выделения трудноразличимых пор привел к увеличению числа черных точек. Хотя повышение точности на 8% не является существенным, однако при определении пористости различных фрагментов поверхности образца, приведенного на снимке (рис. 3 а), оно будет более значительным.



а б в

Рисунок 2 - Бинаризация выделенной области снимков, представленных на рис. 1: а – исходное изображение; результат бинаризации: б – исходного, в – обработанного изображений

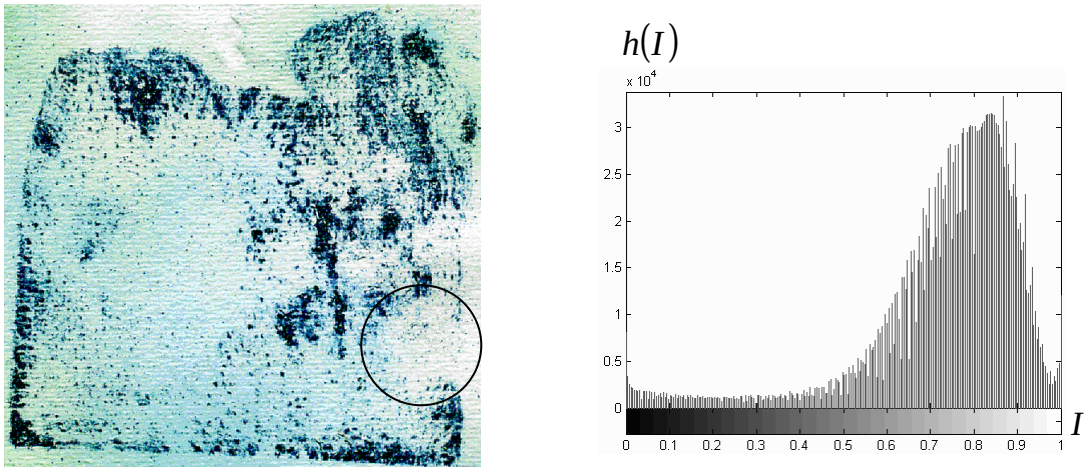


а б

Рисунок 3 - RGB снимок отпечатка поверхности: а – исходное изображение; б – его гистограмма

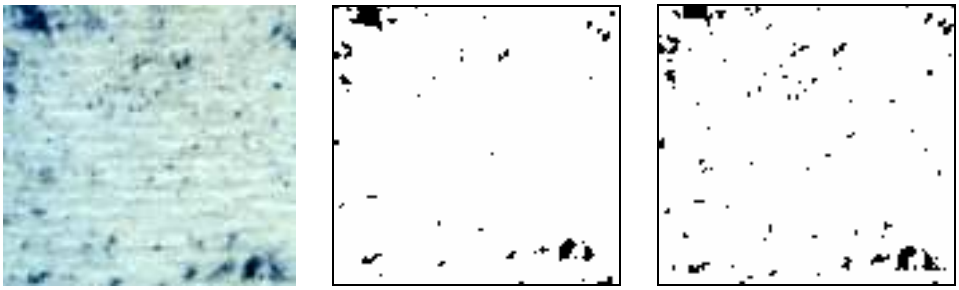
Выводы. Усиление яркости и контраста снимков поверхности покрытий на металлической подложке на основе предложенной модели позволило повысить достоверность их бинаризации как за счет увеличения точности при обработке крупных скоплений пор, содержащих размытие, так и благодаря выявлению мелких одиночных пор. Достоинствами предлагаемого подхода является высокий уровень автоматизации процесса бинаризации (присутствует только один управляющий бинаризацией параметр – наиболее информативный цветовой канал, усиление яркости и контраста производится полностью автоматически), а также повышение ее достоверности. К недостаткам следует отнести высокую вычислительную сложность методов повышения яркости и контраста.

 ISSN 1562-9945



а б

Рисунок 4 - Повышение яркости и контраста у снимка на рис. 3 а: а – результаты обработки; б – гистограмма полученного изображения



а б в

Рисунок 5 - Бинаризация выделенной области снимков, представленных на рис. 3 а и 4 а: а – исходное изображение; результат бинаризации: б – исходного, в – обработанного изображений

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / Мельников П.С. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р.; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
3. Егоров А.А. Метод адаптивного контрастирования мультиспектральных изображений для повышения достоверности нечеткой кластеризации / Егоров А.А. // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3. – С. 306 – 314.
4. Егоров А.А. Метод адаптивного контрастирования мультиспектральных изображений для повышения достоверности нечеткой кластеризации / Егоров А.А. // Искусственный Интеллект. – 2009. – № 3 – С. 506 – 516.

УДК 629.735.015.017.2

С.В. Клименко, В.В. Огоренко

ОЦЕНКА ОБЪЕКТИВНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ПСИХОМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Аннотация. Предложены информационные технологии обработки измерений псмихометрического тестирования личности в задаче оценки объективности результатов и определения их диагностической ценности.

Ключевые слова: психометрическое тестирование, оценка нейротизма, оценка экстраверсии-интроверсии, ранговый метод, выборка измерений, корреляция, статистические связи, вероятность ошибок.

Постановка задачи. Человек в любых управленческих структурах и человеко-машинных автоматизированных системах представляет собой самое ненадежное звено. Именно от него чаще всего зависит состояние объектов повышенной опасности. Безопасность их эксплуатации определяется не только надежностью механизмов и машин, но и надежностью человека, как звена управления, принимающего решения. Его надежность зависит от психического состояния. Таким образом, при эксплуатации автоматизированных систем кроме технической безопасности должна решаться задача поддержки на высоком уровне психологической безопасности путем контроля психического состояния персонала, учавствующего в управлении и особенно тех, кто принимает решения [1]. Задача психоконтроля решается путем компьютерного психометрического тестирования [2]. Компьютерное психометрическое тестирование – это один из многих способов получения информации о психике и личностях людей, которая не может быть получена путем прямого опроса человека о его психическом состоянии, о мотивах поведения, что он думает и знает о своей психике. Большинство людей не склонно задумываться о том, какое у них психическое состояние, какие особенности их личности. Они не способны оценивать у себя степень выраженности тех или иных факторов, характеризующих психическое состояние. Люди не всегда хотят

© Клименко С.В., Огоренко В.В., 2011

 ISSN 1562-9945

давать о себе правдивую информацию в соответствии с тем, что они о себе знают или думают, что знают. У человека могут быть особые причины давать о себе искаженную информацию. Есть большая категория людей, которые в принципе недоверчиво относятся к психологам и их вопросам. Если они даже соглашаются на собеседование или тестирование, то нет уверенности в том, что они сообщают о себе правдивые сведения или правдивые ответы на вопросы.

Поэтому результаты компьютерного психометрического тестирования, по которым принимается то или иное решение о состоянии психики, должны контролироваться на объективность. В классическом тесте Айзенка при определении темперамента это задача решается следующим образом. Из 57 вопросов теста 48 предназначены для оценки нейротизма и экстраверсии-интроверсии, а 9 вопросов для определения искренности (правдивости) тестируемых, которые оцениваются числом ответов, совпадающих с ключом теста: если число совпадающих ответов меньше 5, то результаты тестирования считаются ненадежными. Субъективность такого подхода к оценке объективности тестирования очевидна. Представляется, что информация об искренности тестируемых содержится в результатах тестирования, в функциях теста $S(k)$, решений $R(k)$ и времени $T(k)$ [2].

Статистическая обработка измерений компьютерного тестирования. Оценка корреляционной связи между значениями информативности стимулов и временными показателями их обработки пациентом может служить их косвенным подтверждением его правдивости: более длинным стимулам должны соответствовать более длительные промежутки времени на их восприятие и принятие решений. В медицинской практике чаще всего для этих целей используется ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Это связано с тем, что, как правило, статистические закономерности исследуемых последовательностей неизвестны. Под рангом выборочного значения измерения случайной величины понимается его номер в упорядоченной по возрастанию выборке этих измерений. Для оценки степени связи случайных величин используются не их числа, а соответствующие им ранги. Корреляционная связь означает, что изменения $S(k)$ в ту или в иную сторону будет вызывать подобные изменения в измерениях $T(k)$. Эта

же закономерность имеет место и для рангов двух выборок случайных величин.

Если известны выборки измерений $S(k)$ и $T(j)$, то их ранги вычисляются следующим способом. По выборкам $S(k)$ и $T(k)$ сначала формируют упорядоченные выборки $Y_S(j)$ и $Y_T(k)$. Упорядоченные выборки обладают следующим свойством $Y(1) < Y(2) < \ldots < Y(j-1) < \ldots < Y(n-1) < Y(n)$, где $Y(1) = S_{\min}(\textit{или } T_{\min})$ и $Y(n) = S_{\max}(\textit{или } T_{\max})$. Ранги $R(S_k)$ и $R(T_k)$ вычисляются по формулам

$$R(S_k) = \sum_{j=1}^{n} \operatorname{sgn}(S(k) - Y_S(j)),\ R(T_k) = \sum_{j=1}^{n} \operatorname{sgn}(T(k) - Y_T(j)),$$

где $\operatorname{sgn}(x)$ – функция единичного скачка.

Коэффициент корреляции Спирмена определяется как нормированная сумма рангов двух выборок измерений

$$r^* = 1 - \frac{6\sum_{k=1}^{n}\left(R(S(k)) - R(T(k))\right)^2}{n(n^2-1)}.$$

Показатель Спирмена является случайной величиной, так как $S(k)$ и $T(k)$ изменяются случайным образом при каждом тестировании. Однако, если $S(k)$ и $T(k)$ не коррелированны, то статистические закономерности коэффициента Спирмена известны: при $n > 10$, т.е. если число измерений в выборках больше 10, его распределение почти нормальное с нулевым математическим ожиданием и разбросом около нуля $\pm 3\sqrt{(n-1)^{-1}}$ (с вероятностью 0,997) или $\pm 2\sqrt{(n-1)^{-1}}$ (с вероятностью 0,956). Таким образом, корреляция между $S(k)$ и $T(k)$ признается не значимой, близкой к нулю, если рассчитанное значение показателя Спирмена r^* удовлетворяют неравенству $(-\frac{2 \div 3}{\sqrt{n-1}} \le r^* \le \frac{2 \div 3}{\sqrt{n-1}})$. Например, если сумма квадратов разности 120 и $n = 10$, то эмпирический коэффициент корреляции Спирмена равен

$$\sum_{k=1}^{10} \Delta R^2(k) = 120;\quad r^* = 1 - \frac{6 \cdot 120}{10 \cdot 99} = 0,273.$$

 ISSN 1562-9945

Так как $r^* \le \frac{2}{\sqrt{n-1}} = 0,66$, то корреляция между $S(k)$ и $T(k)$ близка к нулю, т.е. они не коррелированны и следовательно, результаты тестирования сомнительны.

При малых размерах выборок измерений $(10 \le n \le 25)$ более эффективным показателем корреляции является ранговый критерий Ширахатэ. Это аналог критерия Спирмена, асимптотически ему эквивалентен при больших выборках, но при малых у него меньше вероятности принятия ошибочных решений.

Проведем сначала нормировку измерений $S(k)$ и $T(k)$, разделив их на средние значения $\overline{S}$ и $\overline{T}$.

$$X(k) = \frac{S(k)}{\overline{S}},\ \overline{S} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} S(k);\ Y(k) = \frac{T(k)}{\overline{T}},\ \overline{T} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} T(k).$$

Их ранги определяются как сумма собственных и взаимных рангов

$$R(X(k)) = \sum_{i=1}^{n} \operatorname{sgn}\left(X(k) - X(i)\right) + \sum_{i=1}^{n} \operatorname{sgn}\left(X(k) - Y(i)\right),$$

$$R(Y(k)) = \sum_{i=1}^{n} \operatorname{sgn}\left(Y(k) - Y(i)\right) + \sum_{i=1}^{n} \operatorname{sgn}\left(Y(k) - X(i)\right).$$

Показатели Ширанхатэ – это сумма произведений рангов $R(X(k))$ и $R(Y(k))$

$$S = \sum_{k=1}^{n} R(X(k))R(Y(k)).$$

Если сравнивать некоррелированные выборки, то S, как случайная величина, может изменятся в интервале от $S_1 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{3}$ до $S_2 = \frac{n(n+1)(4n-1)}{3}$ и пороги сравнения для принятия решения о некоррелированности исследуемых измерений $S(k)$ и $T(k)$ при выполнении неравенства $S_1 \le S \le S_2$ находятся по табличным значениям. При $n > 20$ можно использовать для оценки коррелированности как критерий Спирмена, так и критерий Ширахатэ [3].

Некоторую информацию о состоянии психики пациента во время тестирования можно получить, если проанализировать флуктуации измерений времени и скорости обработки им стимулов. Эта

информация содержится в выборочных дисперсиях $D^*(T)$ и $D^*(V)$. Коэффициенты разброса равны отношению корня квадратного из выборочных дисперсий и средних значений $\overline{T}$ и $\overline{V}$

$$K_T = \frac{\sqrt{D_T^*}}{\overline{T}}, \qquad K_V = \frac{\sqrt{D_V^*}}{\overline{V}}, \qquad \text{где} \qquad D_T^* = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}\left(T_k - \overline{T}\right)^2,$$

$$D_V^* = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}\left(V_k - \overline{V}\right)^2.$$

Можно предположить, что эти коэффициенты характеризуют волнение пациента в процессе тестирования, его нерешительность при принятии решений. Очень малые значения коэффициента K_V при больших средних значениях $\overline{V}$ и малых дисперсиях D_V^* ставят под сомнение результаты тестирования как и малые, близкие к нулю значения коэффициента корреляции.

Представляет интерес еще один показатель текущего тестирования – это выбросы измерений $T(k)$. В статистике под выбросами понимают измерения, значения которых явно отличаются от остальных в данной последовательности в большую или меньшую сторону от среднего значения. Они должны быть обнаружены с указанием к каким стимулам они относятся. Трудности решения этой задачи в том, что статистические закономерности измерений $T(k)$ неизвестны. Первый шаг ее решения – визуальный просмотр выборки измерений $T(k)$. Выборка ранжируется от минимального до максимального значения

$$\tau(1) < \tau(2) < \ldots < \tau(i-1) < \tau(i) < \ldots < \tau(n-1) < \tau(n),$$

где $\tau(1) = \mathrm{T}_{\min}$ и $\tau(n) = \mathrm{T}_{\max}$.

Из визуального анализа ранжированных данных можно получить информацию об отношении пациента к стимулам, на которые затрачено максимальное и минимальное время или которые обрабатывались с минимальной или максимальной скоростью.

Для исследования, могут ли они быть выбросами, воспользуемся критерием Диксона для ассиметричных случайных величин [3]. Для проверки является $\tau_1 = \tau(1)$ и $\tau_n = \tau(n)$ выбросом, вычисляется показатель Диксона

 ISSN 1562-9945

$$\delta_1 = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_n - \tau_1} \text{ или } \delta_n = \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{\tau_n - \tau_1}.$$

Для проверки, что оба они выбросы, вычисляются два показателя

$$\delta_{11} = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{n-1} - \tau_1} \text{ и } \delta_{1n} = \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{\tau_n - \tau_2}.$$

Измерения признаются выбросами, если их значения больше пороговых (или критических) $\delta_1(0)$, $\delta_n(0)$, $\delta_{11}(0)$ и $\delta_{1n}(0)$. Значения порогов при надежности $P = 0,95$ даны в таблице 1.

Таблица 1

n	5	6	7	8	9	10	11	12	пороги
$\delta_1(0)$	0,74	0,68	0,64	0,6	0,58	0,56	0,55	0,53	Н
$\delta_n(0)$	0,55	0,46	0,38	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	В
$\delta_{11}(0)$	0,86	0,77	0,71	0,67	0,64	0,61	0,59	0,56	Н
$\delta_{1n}(0)$	0,76	0,62	0,52	0,45	0,40	0,37	0,34	0,32	В
n	13	14	15	16	17	18	19	20	пороги
$\delta_1(0)$	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	Н
$\delta_n(0)$	0,24	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	В
$\delta_{11}(0)$	0,56	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	Н
$\delta_{1n}(0)$	0,30	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	В

Здесь Н – пороги для оценки нижних (минимальных) выбросов, В – пороги для оценки верхних (максимальных) выбросов.

При числе измерений больше двадцати $n > 25$ следует использовать используется критерий Груббса [3]

$$t_n = \frac{\tau_n - \overline{T}}{\sqrt{D_T^*}} \quad \text{и} \quad t_1 = \frac{\overline{T} - \tau_1}{\sqrt{D_T^*}},$$

где D_T^* – выборочная дисперсия, вычисляемая по формуле

$$D_T^* = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}\left(T(k) - \overline{T}\right)^2.$$

Если $t_1 \geq t_{01}$ или $t_n \geq t_{0n}$, то $\tau(1)$ или $\tau(n)$ признаются выбросами. Для оценки порогов используются формулы

$$t_{0n} = \Psi\left(1 - \frac{1-P}{n}\right), \quad t_{10} = \begin{cases} 1,31 + 0,435\ln(n-2,7), \ 20 \le n \le 35, \\ 1.962 + 0.281\ln(n-15), \ 35 < n \le 500, \end{cases}$$

где $\Psi(z)$ – функция, обратное интегралу вероятности Гаусса [3], вычисляемая по формуле

$$\Psi(z) = 4,91\left[z^{0,14} - (1-z)^{0,14}\right].$$

Если $15 \le n \le 25$, то пороговые значения t_{01} и t_{0n} при надежности $P = 0,95$ следует выбирать из таблицы 2.

Таблица 2

n	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
t_{0n}	2,617	2,644	2,668	2,691	2,712	2,732	2,750	2,768	2,784	2,800	2,815
t_{01}	2,493	2,523	2,551	2,577	2,600	2,623	2,644	2,664	2,683	2,701	2,717

Выводы. На результаты психометрического тестерования оказывает влияние субъективный фактор: отношение личности к такому способу получения информации о тех или иных характеристиках и особенностях его психики, и показателях, зависящих от его психического состояния. Это отношение характеризуется правдивостью ответов испытуемых на стимулы-вопросы. Предложены два метода проверки объективности результатов тестирования: 1) путем оценки статистическогой связи между числом знаков в вопросах и измерениями времени на их чтение, осмысление и подготовку решений; 2) анализа разбросов измерений времени и скорости обработки стимулов в процессе тестирвоания. Если оценки не удовлетворяют статистическим критериям, то результаты тестирования считаются сомнительными и не могут использоваться при подготовке диагностических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малайчук В.П., Огоренко В.В. Введение в психологию принятия решений. – Системные технологии. – Днепропетровск. – 2009. – 130с.
2. Клименко С. В., Огоренко В. В. Информационные технологии индивидуального компьютерного психометрического тестирования. Системные технологии 6’(53).–Днепропетровск.–2007. – С.116-124.
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816с.

 ISSN 1562-9945

УДК 541.138.2

В.А. Перерва, Е.В. Карпович

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДУГИ ПРИ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Аннотация. Проведен теоретический анализ математических моделей для способа сварки неплавящимся электродом. Установлено, что для построения модели процесса сварки полым катодом необходимо учитывать катодные и анодные явления в столбе дуги. Показана возможность определения параметров плотности тока на аноде и оптимальных условий ведения процесса сварки.

Ключевые слова: сварка полым катодом, сварочная дуга, катодная область, анодная область.

Современный уровень развития машиностроительного производства характеризуется внедрением на стадии технологической подготовки математической оценки физических процессов, обеспечивающих основной цикл изготовления продукции. При производстве шаробаллонов высокого давления из титанового сплава ВТ6С или нержавеющей стали таким процессом является аргонно-дуговая сварка полым катодом в вакууме. Математическое описание различных методов сварки основывается на моделировании электрических дуг с учетом ряда физических явлений в пределах полного сварочного процесса. Определение параметров дуги является одной из основных задач, решение которой заключается в определении распределения энергии и давления, оказываемого дугой на рабочую поверхность [1, 2]. Анализ существующих математических моделей дуг позволит определить оптимальный комплекс параметров для описания и управления процессом сварки деталей полым катодом в вакууме.

Сварочная дуга состоит из термической плазмы, окруженной электродными областями, в которых сосредоточена основная часть падения напряжения [2, 3]. Анодная и катодная области представляют собой тонкие слои вокруг активных областей электродов. Приэлектродные области можно рассматривать как одномерные, так как их осевая протяженность мала по сравнению с радиальной. Основная

© Перерва В.А., Карпович Е.В., 2011

область дуги (столб дуги) должна рассматриваться в виде двухмерной (принимая цилиндрическую симметрию), или трехмерной для высокоскоростных сварочных технологий и при наклонном положении дуги. Анализ существующих моделей дуги, приведенных в [3 – 5], показал необходимость рассмотрения и учета катодных явлений и нелинейную зависимость коэффициентов переноса энергии от температуры.

Катодные явления при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах рассматриваются из предположения, что перед металлической поверхностью, эмитирующей электроны, находится пространственный заряд (неравновесный слой), затем – зона ионизации [3 – 5]. Принимается, что в зоне пространственного заряда не происходит столкновений между частицами, а в зоне ионизации происходит множество столкновений, но сохраняется состояние квазинейтральности. Со стороны плазмы зона ионизации, находится в состоянии локального термодинамического равновесия.

Анализ данных по сварке полым катодом [3 – 5] показал, что в столбе катода электроны распределяются по энергиям и процесс катодного падения напряжения не может быть описан математической моделью плазмы дуги перед металлической поверхностью, эмитирующей электроны. Предполагается, что в области выхода плазмы из полого катода существует двойной электрической слой (ДЭС). Наблюдаемое при сварке ограничение тока в этом случае связано с распадом ДЭС, экстремальный характер зависимости глубины проплавления от величины межэлектродного промежутка – с фокусирующим действием ДЭС, а появление группы быстрых электронов объясняется их разгоном за счет падения напряжения на слое.

Двойные слои чаще всего образуются в местах сужения при контрагировании газовых разрядов пониженного давления. В разрядах равномерного сечения, к которым можно отнести полый катод, двойной слой может образовываться при наличии области местного разрежения. Таким местом в исследуемом разряде является район выхода плазмы из катода в камеру. Уменьшение ионного потока в этой части разряда, вызванное повышенным разрежением газа и повышенными потерями ионов, вследствии их радиальной диффузии на стенки катода, приводит к образованию области с нескомпенсированным отрицательным зарядом и значительной напряженностью элек-

 ISSN 1562-9945

трического поля. Ускоренные в этой зоне электроны интенсивно ионизируют газ и непосредственно за ней создается избыточный положительный заряд (рис. 7).

Толщина слоя составляет несколько дебаевских длин. Форма ДЭС представляет собой часть сферы и поэтому слой способен фокусировать электроны, поступающие на него из катодной плазмы. Ускоренные в слое электроны обладают большой ионизирующей способностью, поэтому с анодной стороны слоя обычно возникает ярко светящийся плазменный сгусток. Электроны в сгустке состоят из двух групп, одна из которых образована быстрыми электронами, прошедшими двойной слой, не испытывая неупругих взаимодействий, а вторая – медленными электронами, появившимися в результате ионизации атомов.

Расчет в зоне пространственного заряда проводится по граничным условиям на поверхности катода и на границе зоны пространственного заряда с целью определения падения потенциала. Характер процессов на полом катоде термоэмиссионный. В области активной зоны имеет место радиальное падение напряжения, аналогичное катодному падению напряжения в классической дуге.

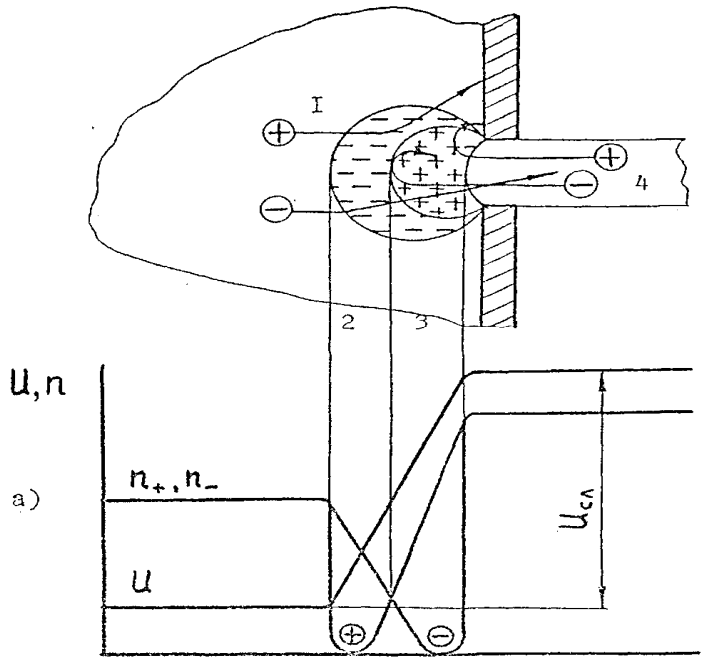


Рисунок 1 – Структура ДЭС, распределение концентраций, потенциала: 1 – катодная плазма; 2 – область отрицательного объемного заряда; 3 – область положительного объемного заряда; 4 – анодная плазма

На элементарном участке эмитирующей поверхности, работающей в режиме термоэмиссии в условиях самостоятельного газового разряда, энергия на катод подводится за счет потока тепла из плазмы $q_{пл}$ и джоулева нагрева $q_{дж}$ при протекании по катоду тока. Отвод энергии от катода осуществляется за счет эмиссии электронов q_e, а также посредством излучения q_u и теплопроводности q_m (рис. 2). В стационарном режиме справедливо следующее равенство:

$$q_{пл} + q_{дж} = q_e + q_u + q_m \quad (1)$$

откуда можно считать, что

$$q_{дж} = q_u + q_m \quad (2)$$

Следовательно, на катоде должно соблюдаться соотношение

$$q_{пл} = q_e, \quad (3)$$

то есть в стационарном режиме работы тепловой поток на катод из плазмы снимается в результате "электронного охлаждения".

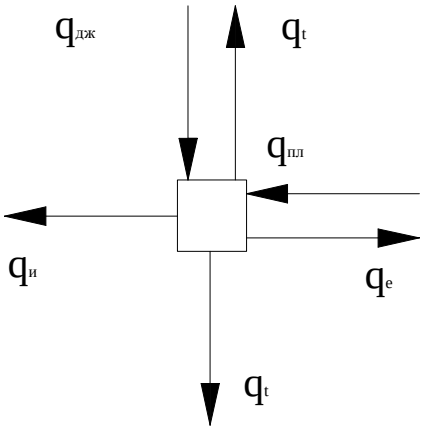


Рисунок 2 – Схема энергетического баланса элементарного участка эмитирующей поверхности полого катода

Величина $q_{пл}$ складывается из кинетической энергии ионов, ускоренных в зоне катодного падения, и энергии нейтрализации ионов, выделяющейся при рекомбинации ионов на поверхности катода. Кроме того, энергия катоду передается из плазмы конвекцией и излучением, но в плазме низкого давления этот член оказывается относительно малым и его, в первом приближении, можно не учитывать:

$$q_{пл} = j_i U_k + j_i (U_i - \Phi_{эф}), \quad (4)$$

где j_i – плотность ионного тока на поверхности катода; U_k – величина катодного падения напряжения; U_i – потенциал ионизации рабочей среды; $\Phi_{эф}$ – эффективное значение работы выхода катода.

 ISSN 1562-9945

Поток энергии, уносимый эмитированными электронами, выражается через плотность тока эмиссии j_e и эффективную величину работы выхода катода:

$$q_e = j_e \cdot \Phi_{эф}, \tag{5}$$

В соответствии с (3), равенства правых частей выражений (4) и (5), с учетом $U_k \approx \Phi_{эф}$ после преобразований ток эмиссии будет определяться формулой

$$j_e \approx j_i \frac{U_i}{\Phi_{эф}}, \tag{6}$$

Из (6) следует, что увеличение плотности электронного тока на катоде может быть достигнуто тремя способами: увеличением плотности ионного тока j_i; увеличением потенциала ионизации рабочей среды U_i, а также снижением работы выхода катода $\Phi_{эф}$:

– увеличение за счет U_i связано с заменой плазмообразующего газа для полого катода, что не выгодно экономически, так как инертные газы, у которых U_i выше, чем у аргона менее доступны и имеют более высокую стоимость;

– учитывая то, что доля ионного тока j_i на катоде является фактором, обеспечивающим нагрев катода, появляется возможность снизить температуру и повысить срок службы полого катода.

В разработке математической модели важно также провести оценку анодных явлений [3, 4, 6]. Диффузионный анодный слой определяется как низкотемпературная зона перед анодом, которая имеет толщину порядка 0,1 мм, что существенно больше, чем средняя длина свободного пробега электрона. Это приводит к большой концентрации частиц в этой зоне, значительным градиентам температур и вызывает диффузионные потоки, которые нужно учитывать в основных уравнениях.

Температура тяжелых частиц в прианодной зоне падает от температуры плазмы до температуры поверхности анода. Наличие электрической проводимости и сохранение закона неразрывности тока подразумевает, что температура электронов должна быть существенно больше температуры тяжелых частиц, что обуславливает заметные отклонения от локального термодинамического равновесия в пределах пограничного анодного слоя.

Анодное падение напряжения объясняется наличием над поверхностью анода зоны пространственного заряда размером на несколько порядков меньше толщины пограничного анодного слоя. В пределах этой зоны присутствует сильные электрические поля вследствие отклонения от квазинейтральности. Модели анодного слоя, включенные в программы полного моделирования дуги, фактически идентичны моделям соответствующих катодных слоев.

Для сварочных приложений избыточное давление дуги будет оставаться постоянным в узком пограничном анодном слое и может быть вычтено из результатов моделирования столба. Фактически на поток энергии влияет анодное падение напряжения. Для определения теплового потока на аноде наиболее широко используется формула [4].

$$q_a = q_{ток} + q_{конв} + q_{изл}, \tag{7}$$

где $q_{ток}$ – тепловой поток, переносимый электронным током (вносящий около 70% в суммарный тепловой поток на поверхности анода); $q_{изл}$ – поток мощности, теряемой на излучение; $q_{конв}$ – поток мощности, теряемой на конвекцию.

Составляющие выражения (7) могут определяться по следующим формулам [4]:

$$q_{ток} = j_a(2,76 + \Phi_a); \tag{8}$$

$$q_{изл} = \int_{v_j} \frac{P_{излi,j}}{4\pi r_{i,j}^2} \cdot \cos\psi dV_j; \tag{9}$$

$$q_{конв} = \frac{0,515}{\mathrm{Pr}_w}\left(\frac{\mu_e\rho_e}{\mu_w\rho_w}\right)^{0,11}\left(\mu_w\rho_w\frac{dv_{re}}{dr}\right)^{0,5}\left(h_e - h_w\right), \tag{10}$$

где Φ_a – эффективная функция работы выхода материала анода, изменяющееся от 4,3 (Cu)...4,5 (сталь); $P_{изл}$ – мощность собственного излучения плазмы; r – радиальная координата.

В формуле (10) индекс e обозначает значение на анодном конце столба дуги (граница анодного слоя) и w значения на стенке.

По распределению теплового потока q_a, можно определить коэффициент полезного действия (КПД) дуги η:

$$\eta = \frac{2\pi\int_0^{L_r} q_a r dr}{I_д\left(U_k + U_{ст} + U_a\right)}, \tag{11}$$

 ISSN 1562-9945

где $I_д$ – ток дуги; $U_к$ – катодное падение напряжения; U_a – анодное падение напряжения.

Формула обычно применялась без учета неизвестного анодного падения напряжения и результаты моделирования не обеспечивали формулу КПД дуги, подходящую для практических целей. Наиболее часто в расчетах параметров сварки используются эмпирические данные эффективного значения КПД. Для дуговой сварки неплавящимся полым катодом эффективный КПД составляет η = 0,8...0,85 [7].

Приравняв формулу (11), полученную в результате теоретического анализа, к экспериментальным значениям КПД можно определить величину анодного падения напряжения U_a или суммарный тепловой поток на аноде для условий сварки, определяемых как отдельным показателем формулы, так и их соотношением:

$$U_a = \frac{2\pi \int_0^{L_r} q_a r dr}{\eta \cdot I_д} - \left(U_k + U_{cm}\right) \qquad (12)$$

Процесс проплавления основного материала при сварке является конечным результатом теплового и силового взаимодействия технологического источника энергии с обрабатываемым материалом. Глубина проплавления, а также его форма определяются концентрацией вводимой в зону сварки энергии, которая в свою очередь при сварке полым катодом определяется величиной и характером распределения плотности тока в пятне нагрева. Для построения наиболее правильной модели процесса сварки полым катодом необходимо учитывать как катодные явления с двойным электрическим слоем в столбе дуги, так и анодные с учетом слоев диффузионного взаимодействия и пространственного заряда.

На основе экспериментальных данных и теоретического анализа физических процессов в электрической дуге между полым катодом и деталью-анодом (формулы (7) – (12)) можно установить характер распределения и параметры регулирования плотности тока на аноде, определить оптимальные условия ведения процесса сварки, которые будут обеспечивать требуемые геометрические и эксплуатационные характеристики сварного соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Судник В. А. Расчеты сварочных процессов нам ЭВМ / В. А. Судник, В. А. Ерофеев – Тула: Тульский политехнический институт, 1986. – 100 с.
2. Судник В. А. Математическое моделирование технологических процессов сварки в машиностроении / В. А. Судник, В. А. Ерофеев – М.: Машиностроение, 1987. – 56 с.
3. Anode-boundary-layer behaviour in a transferred, high-intensity arc / T. Amakawa, J. Jenista, J. Heberlein, E. Pfender. // J. Phys. D: Appl. Phys., 1998. – Vol. 31 – P. 2826-2834.
4. Dinulescu H. A. Analysis of the anode boundary layer of high intensity arcs / H. A. Dinulescu, E. Pfender // J. Appl. Phys., 1980. – Vol. 51 – P. 3149-3157.
5. Кесаев И. Г. Катодные процессы электрической дуги / И. Г. Кесаев – М.: Наука, 1968. – 244 с. – Библиогр.: с. 237 – 242.
6. Prediction of anode temperatures of free burning arcs / P. Zhu, J. J.Lowke, R. Morrow, J. Haidar //J. Phys. D: Appl. Phys., 1995. – Vol. 28 – P. 1369-1376.
7. Сварка и свариваемые материалы: справочник в 3-х т. Т. II / Под ред. В. М. Ямпольского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996. – 574 с. – Библиогр.: с. 564 – 537. – ISBN 5-7038-1253-4.

 ISSN 1562-9945

УДК 625.141.2.001.26

Б.М. Товт

ОПТИМІЗАЦІЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ РЕЙКОЗВАРЮВАЛЬНОЇ КОЛІЙНОЇ МАШИНИ КРС-1

У статті наведені результати оптимізації несучої конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1. Обґрунтовано необхідність проведення оптимізації конструкції досліджуваної машини, виконано постановку задачі оптимізації, розроблено спрощено скінченно-елементну модель несучої конструкції колійної машини. На основі результатів аналітичного дослідження напружено-деформованого стану (НДС) виконано оцінку міцності оптимальної несучої конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1.

Рейкозварювальна колійна машина КРС-1 призначена для зварювання рейок при ремонті безстикової колії, а також одиничних рейок у безстикові плеті на станціонних коліях. Машина зварює рейки у колії, якою рухається, а також рейки, укладені всередині колії та зовні від ходової рейки [1]. Загальний вид планувальника машини КРС-1 виробництва ВАТ «Каховський завод електрозварювального обладнання» зображено на рис. 1.

Рисунок 1 – Рейкозварювальна колійна машина КРС-1

Оцінка міцності виконувалася для транспортного режиму експлуатації, при якому машина може включатися до складу потягу, який рухається зі швидкістю до 90 км/год, або рухатися самоходом, як окрема транспортна одиниця зі швидкістю до 90 км/год.

Рама машини КРС-1 (рис. 2) складається з двох основних повздовжніх балок (двотавр №36М ГОСТ 19425-74*) 1, двох шкворне-

© Товт Б.М., 2011

вих балок 2, восьми поперечних балок 3, двох буферних брусів з коробками для поглинальних апаратів 4, поперечних балок (двотавр №36М ГОСТ 19425-74* і швелер №14П ГОСТ 8240-97) 5. Також до моделі додано обв'язувальний пояс з швелера №14П ГОСТ 8240-97.

Аналітичне дослідження напружено-деформованого стану (НДС) несучої конструкції колійної машини КРС-1 виконувалося за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ). Розрахунок несучої конструкції за МСЕ мав за мету:

1) перевірити відповідність конструкції умовам міцності;

2) визначити місця встановлення тензометричних датчиків для проведення ходових динамічних випробувань на міцність.

Окрім того, за результатами розрахунку несучої конструкції машини КРС-1 за МСЕ були визначені статичні напруження σ_{cm} з послідуючою оцінкою коефіцієнту запасу втомлювальної міцності n.

Для аналітичного дослідження НДС несучої конструкції машини КРС-1 було створено скінченно-елементу модель, представлену на рис. 2. В якості скінченних елементів було взято трьох- і чотирьохвузлові пластинки.

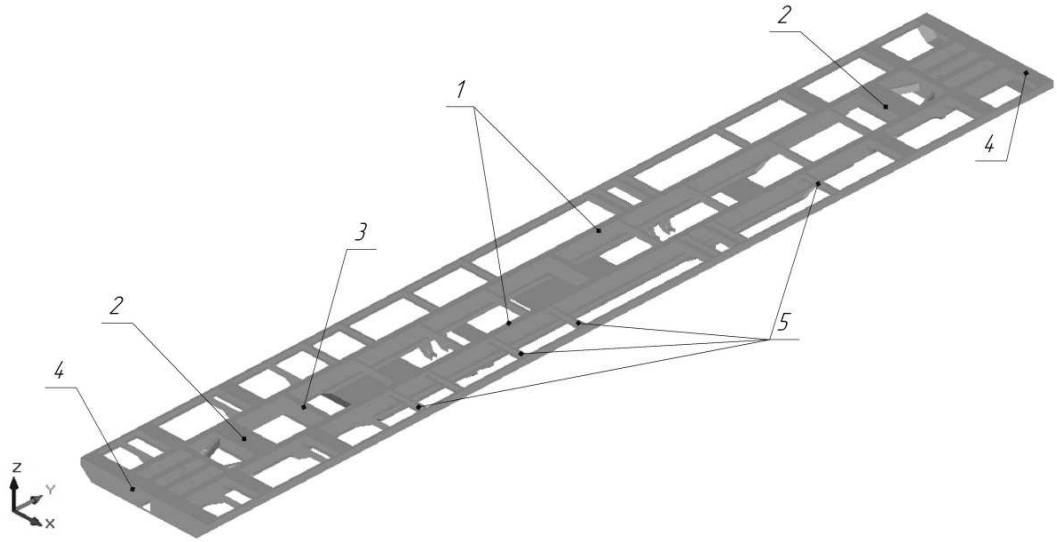


Рисунок 2 – Скінченно-елемента модель рами рейкозварювальної колійної машини КРС-1

При виконанні аналітичного дослідження напружено-деформованого стану (НДС) несучої конструкції досліджуваної машини транспортний режим моделювався дією вертикального навантаження власної ваги несучої рами машини і стаціонарного обладнання, встановленого на неї у транспортному положенні з урахуванням коефіцієнта динаміки k. Навантаження від обладнання, маса якого

 ISSN 1562-9945

перевищувала 1 т, моделювалося зосередженими силами, діючими у місцях кріплення цього обладнання. Навантаження від іншого обладнання враховувалися додаванням до власної ваги рами, шляхом перерахунку питомої ваги матеріалу рами.

Граничні умови задачі реалізовувалися за допомогою введення до місць спирання рами вертикальних зв'язків скінченної жорсткості, причому сумарна жорсткість одного комплекту зв'язків скінченної жорсткості була взята рівною жорсткості одного комплекту ресорного підвішування.

На рис. 3 і 4 відповідно показані поля розподілу за конструкцією рами головних σ_1 і еквівалентних $\sigma_{екв}$ напружень за енергетичною теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі.

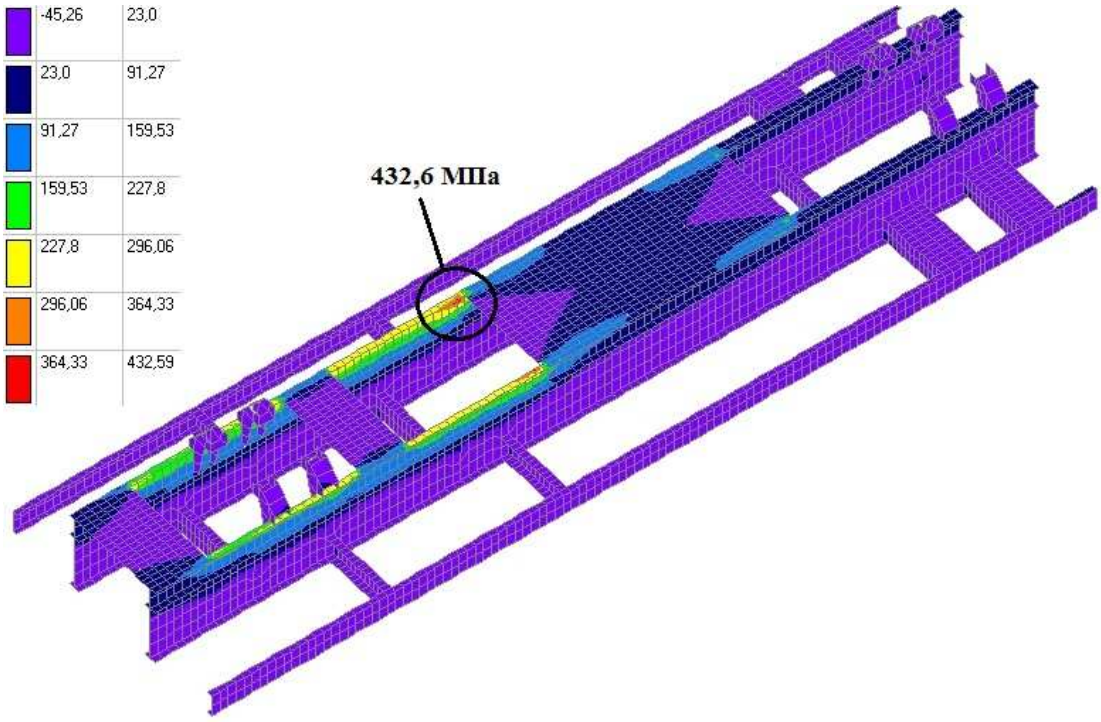


Рисунок 3 – Поля головних напружень σ_1 у центральній частині несучої рами. Транспортний режим (МПа)

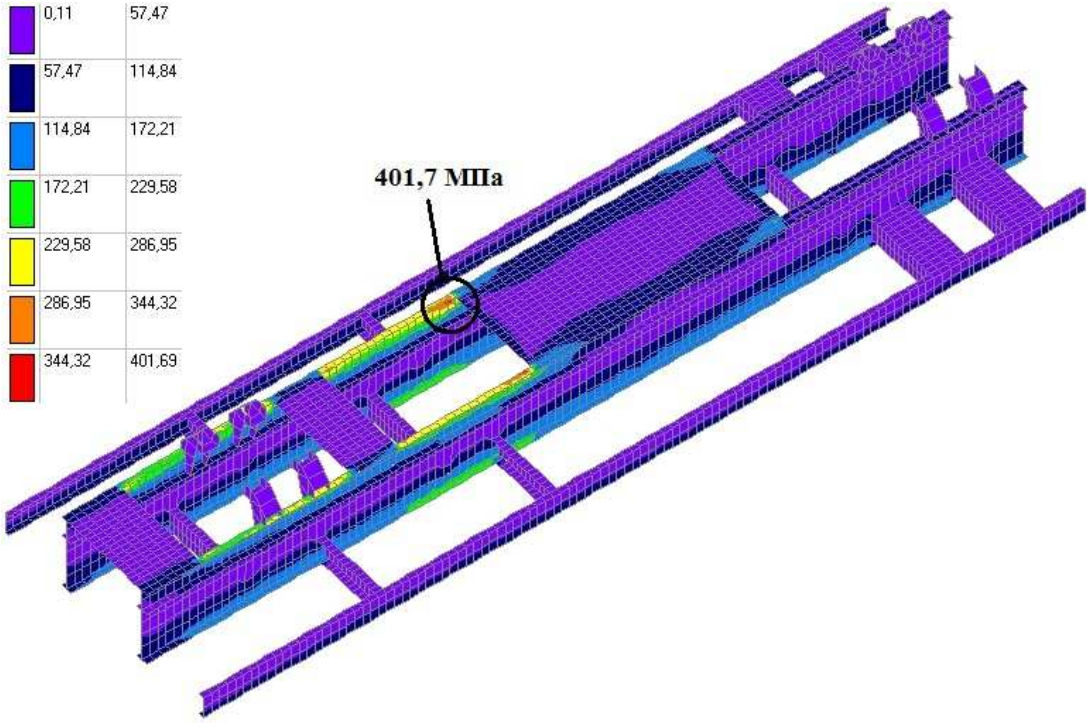


Рисунок 4 – Поля еквівалентних напружень $\sigma_{екв}$ у центральній частині несучої рами. Транспортний режимі (МПа)

Дослідження НДС несучої конструкції колійної машини КРС-1 показало (рис. 3, 4), що її середня частина є найбільш навантаженою при дії статичного навантаження. Зона максимальних напружень розташована у районі підвішування паливного бака (точка X6R [2]). Значення еквівалентних напружень за енергетичною теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі з урахуванням коефіцієнту динаміки, який складав $k = 1,38$, у зоні концентрації (точка X6R) складають $\sigma_{дин} = k\sigma_{ст} = 401,7$ МПа.

Таким чином, міцність несучої рами машини КРС-1 за допустимими напруженнями не забезпечується, оскільки максимальні напруження у транспортному режимі, які становлять 401,7 МПа, значно перевищують нормативне значення $[\sigma] = 155$ МПа [5, 6].

Коефіцієнт запасу втомлювальної міцності розраховувався за відомим виразом [4]:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_a + \Psi_\sigma \sigma_m},$$

де σ_{-1} – границя витривалості гладенького лабораторного зразка при симетричному циклі для базової довговічності;

 ISSN 1562-9945

σ_m – середнє значення циклу напружень. Приймалося рівним значенню напруження, отриманому при дії статичного навантаження σ_{cm}, тобто $\sigma_m = \sigma_{cm}$.

σ_a – номінальне значення амплітуди циклу зміни напружень;

Ψ_σ – коефіцієнт чутливості й асиметрії циклу;

K_σ – сумарний коефіцієнт, який враховує вплив концентрації напружень, масштабного і технологічного факторів.

Таблиця 1

Коефіцієнти запасу втомлювальної міцності несучої конструкції машини КРС-1

Місце конструкції	Розрахунок конструкції за МСЕ	$[n]$
X6R	0,52	1,5
X7R	1,20	

Втомлювальна міцність несучої рами дослідної машини вважається забезпеченою, якщо отримані значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності не менші за нормативне значення, яке згідно [5, 6] приймається рівним $[n] = 1,5$. З табл. 1 видно, що у найбільш навантажених елементах конструкції (точки X6R і X7R [2]) значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності не знаходяться у допустимих межах, оскільки нижчі за нормоване значення $[n] = 1,5$ [5, 6].

Таким чином, в результаті аналітичного дослідження НДС несучої конструкції колійної машини КРС-1, було встановлено, що міцність несучої рами у транспортному режимі не забезпечена ні за допустимими напруженнями, ні за коефіцієнтами запасу втомлювальної міцності.

Постановка задачі оптимізації. Для проведення оптимізаційних розрахунків було створено спрощену скінченно-елементну модель рами машини КРС-1, яка показана на рис. 5. Оскільки несуча рама машини та схема прикладеного до неї навантаження симетричні відносно повздовжньої вісі, то розрахунки проводилися для половини конструкції. Побудова спрощеної моделі супроводжувалася спеціальними контрольними розрахунками з метою отримання результатів, ідентичних повній моделі [2]. Несучі балки моделювалися універсальними стрижневими скінченними елементами.

Рама машини КРС-1 (рис. 1) складається з двох основних повздовжніх балок 1, двох шкворневих балок 2, восьми поперечних балок 3, двох буферних брусів з коробками для поглинальних апаратів 4, поперечних балок (двотавр №36М ГОСТ 19425-74* і швелер №14П ГОСТ 8240-97) 5. Також до моделі додано обв'язувальний пояс з швелера №14П ГОСТ 8240-97.

Оптимізаційні розрахунки проводилася для транспортного режиму (статичного навантаження з урахуванням коефіцієнту динаміки $k = 1,38$ [5]).

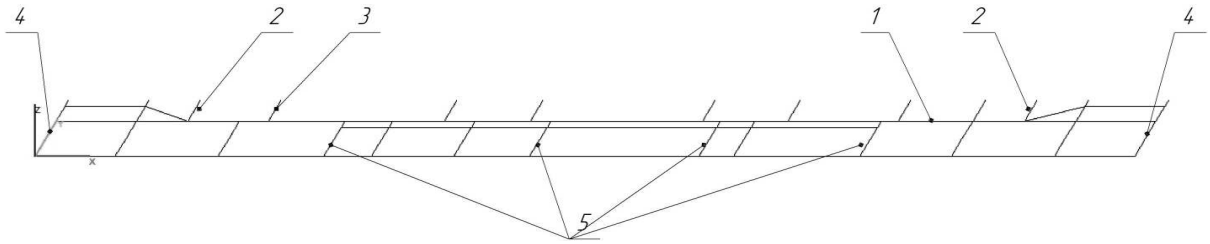


Рисунок 5 – Скінченно-елемента модель рами рейкозварювальної колійної машини КРС-1

У якості цільової функції виступила площа поперечного перерізу (рис. 6) основного повздовжнього несучого елемента рами машини:

$$\psi_0 \to \min,$$

$$\psi_0 = 2Bt + Hd, \text{см}^2$$

де H – висота двотаврового поперечного перерізу; B – ширина полиці; t – товщина полиці; d – товщина стійки перерізу.

Змінними проектування у задачі оптимізації було обрано висоту двотаврового поперечного перерізу H і ширину полиці B.

Обмеження на змінні стану задавалися у вигляді умови міцності:

$$\frac{\sigma}{[\sigma]} = 1, \tag{1}$$

де σ – значення максимального напруження в основному повздовжньому елементі рами у транспортному режимі;

$[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу, з якого виготовлено конструкцію. При проведенні розрахунків ці напруження згідно [5, 6] були взяті для сталі Ст3 сп5 ГОСТ 535-88 $[\sigma] = 155$ МПа.

 ISSN 1562-9945

Обмеження на змінні проектування були обрані наступним чином: висота перерізу H і ширина полиці B обмежувалася умовою невід'ємності їхнього значення:

$$0 < H, \text{ см}$$

$$0 < B, \text{ см} \qquad (2)$$

У якості початкового проекту було обрано реальний проект конструкції з такими значеннями змінних проектування: $H = 36$ см, $B = 13$ см, $t = 1,6$ см, $d = 0,95$ см.

Оптимізація несучої конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1. Оптимізуємо несучу конструкцію рейкозварювальної колійної машини КРС-1 за допомогою процедури чисельної оптимізації конструкцій, запропонованої у [3, 4].

У якості основного несучого елементу рами досліджуваної машини виступає двотавровий поперечний переріз №36М за ГОСТ 19425-74* (рис. 6).

Максимальні напруження у конструкції невдосконаленої рами, які виникають в середній частині основного повздовжнього елемента, складають 432 МПа, що значно більше за допустиме значення у 155 МПа [5, 6]. Таким чином, оскільки початковий проект не задовольняє обмеженню на змінні стану (1), отримуємо задачу оптимального вдосконалення несучої конструкції досліджуваної колійної машини.

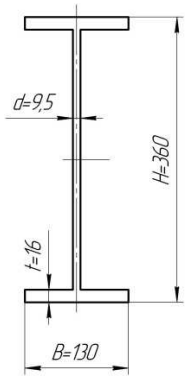


Рисунок 6 – Поперечний переріз основного повздовжнього елемента невдосконаленої рами колійної машини КРС-1

У якості умови зупинки процесу оптимізації було обране правило, згідно якого процедура оптимізації зупиняється у тому разі, якщо на наступній ітерації отримане значення цільової функції ψ_0 більше за попереднє значення. Проте слід відмітити, що у рамках даної задачі це правило не використовується для першої ітерації, оскільки у вихідному проекті конструкції порушується обмеження (1).

Результати оптимізації невдосконаленої несучої конструкції рами рейкозварювальної колійної машини проілюстровано на рис. 7 – 9. На вказаних рисунках за віссю абсцис відкладено номер ітерації, за віссю ординат – значення цільової функції (рис. 7), або змінної проектування (рис. 8, 9).

З рис. 7 – 9 видно, що процедура оптимізації конструкції досліджуваної машини тривала 13 ітерацій.

Як видно з графіку на рис. 7, на першій ітерації спостерігається збільшення значення цільової функції задачі ψ_0. На перший погляд, це суперечить ідеї оптимізації конструкцій, згідно якої на кожній новій ітерації має знаходитися проект зі все меншим значенням цільової функції. Пояснення полягає у тому, що, як вже зазначалося вище, у вихідному проекті конструкції значення змінних стану порушують обмеження (1). Іншими словами, вирішується задача додання оптимальної кількості матеріалу.

Найближчим до оптимального за моментом інерції допустимим стандартним проектом є двотавровий поперечний переріз №60Б2 за ГОСТ 26020-83, параметри якого задовольняють обмеженням (1), (2) (рис. 10). До табл. 2 зведено отримані результати оптимізації конструкції колійної машини КРС-1.

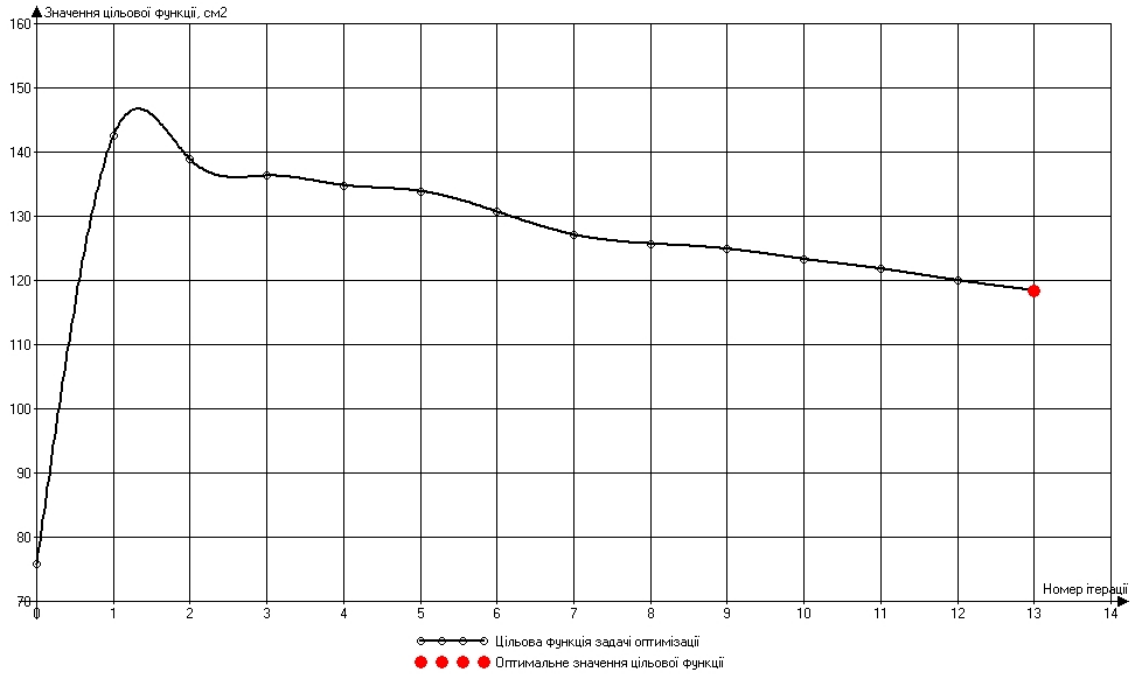


Рисунок 7 – Цільова функція задачі оптимізації

 ISSN 1562-9945

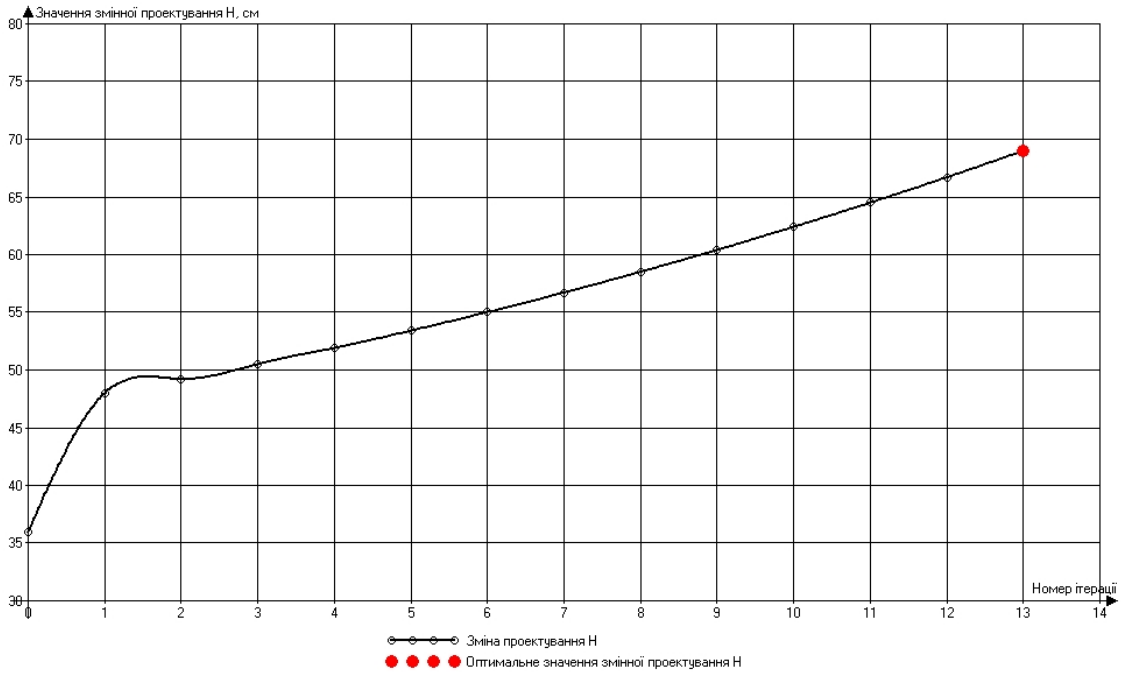


Рисунок 8 – Висота *H* двотаврового поперечного перерізу

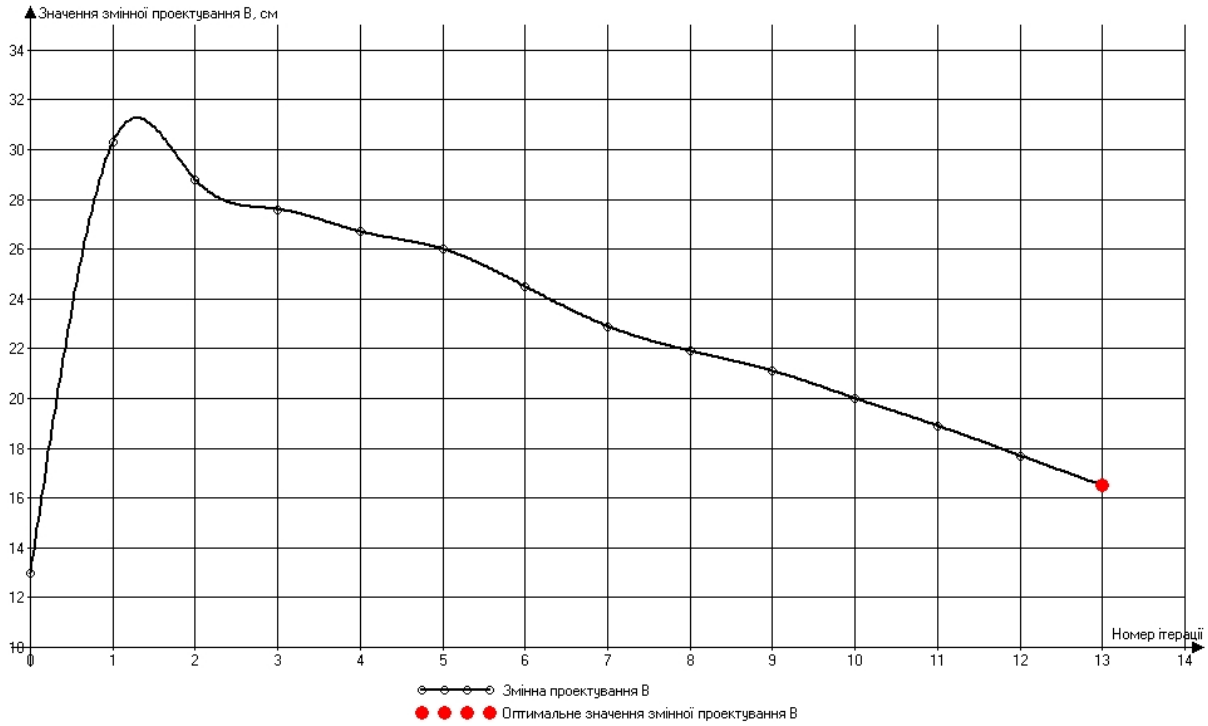
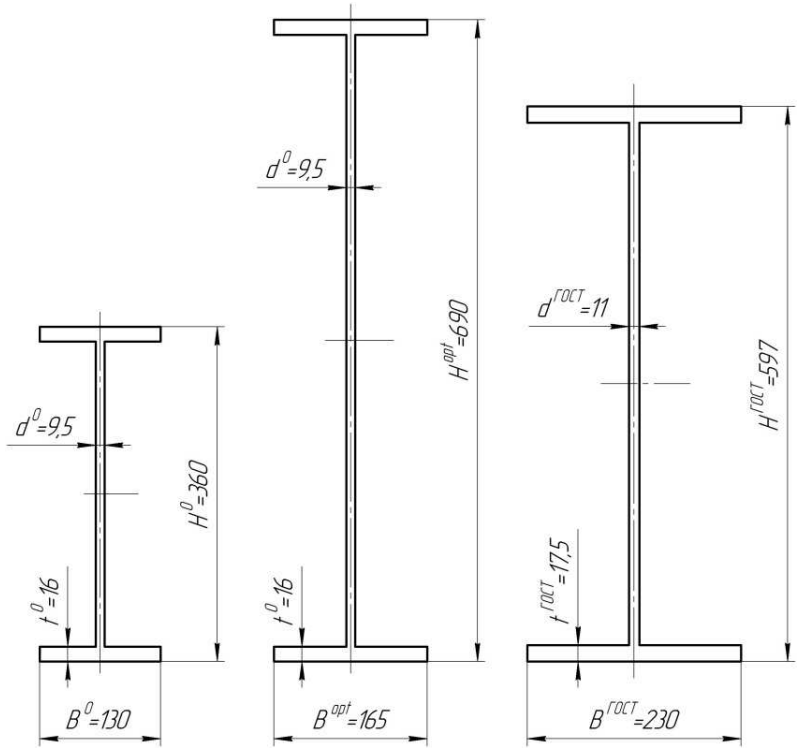


Рисунок 9 – Ширина полиці *B* двотаврового поперечного перерізу



а) б) в)

Рисунок 10 – Реальний і оптимальні проекти поперечних перерізів повздовжньої балки колійної машини КРС-1

а) реальний проект; б) оптимальний проект; в) двотавр №60Б2 ГОСТ 26020-83

Таблиця 2

Результати оптимізації несучої конструкції колійної машини КРС-1

	Реальний проект ($d = 0,95$ см, $t = 1,6$ см)	Двотавр №60Б2 ГОСТ 26020-83 ($d = 1,75$ см, $t = 1,1$ см)	Оптимальний проект ($d = 0,95$ см, $t = 1,6$ см)
H_0, см	36		
B_0, см	13		
H^{opt}, см	–	59,7	69,0
B^{opt}, см	–	23,0	16,5
I_z, см^4	15109	87639	82530
W_z, см^3	840	2936	2392
σ, МПа	432	138	158
$[\sigma]$, МПа	155		
ψ_0^0, см^2	75,8		
ψ_0^{opt}, см^2	–	146,2	118,4
$\Delta\psi_0$, %	–	92,9	56,2

 ISSN 1562-9945

Аналіз результатів оптимізації несучої конструкції машини КРС-1 (табл. 2), вказує на те, що використання стандартного перерізу не дозволяє отримати оптимальну конструкцію, адже цільова функція в оптимальному проекті, отриманому чисельно, значно менша за значенням. Окрім того, при використанні стандартного перерізу максимальні напруження у конструкції при транспортному режимі, які складають 138 МПа, менші за нормативне значення 155 МПа [5, 6].

Відмітимо, що результатом оптимізаційного розрахунку є не тільки отримані розміри оптимального двотаврового поперечного перерізу, але й значення моменту опору W_z оптимального проекту поперечного перерізу.

Використання отриманого оптимального проекту поперечного перерізу у конструкції несучої рами машини КРС-1 ускладнене з технологічних причин, оскільки висота оптимального двотаврового поперечного перерізу $H^{opt} = 69$ см майже у два рази більша за висоту перерізу у початковому проекті $H^0 = 36$ см. Тому було прийнято рішення про вдосконалення конструкції несучої рами досліджуваної машини КРС-1 шляхом посилення поперечного перерізу основного повздовжнього елемента. Вибір вдосконаленого варіанту перерізу базувався на результатах оптимізаційного дослідження, проведеного вище.

У якості основного повздовжнього несучого елементу вдосконаленої конструкції рами було обрано складний поперечний переріз (рис. 11), який складається з двотавра 1 №36М ГОСТ 19425-74*, швелера 2 №14П ГОСТ 8240-97, закритого накладкою 3, а також накладки 4. Величина моменту опору W_z вдосконаленого поперечного перерізу близька за значення до величини моменту опору W_z^{opt} оптимального перерізу, отриманого вище (табл. 3).

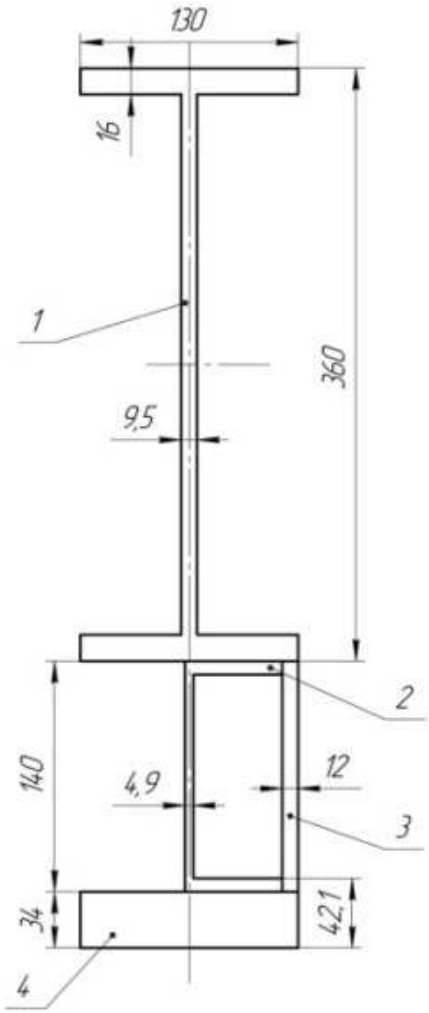


Рисунок 11 – Поперечний переріз основного повздовжнього елемента вдосконаленої рами колійної машини КРС-1

Таблиця 3

Моменти опору оптимального і вдосконаленого поперечних перерізів

Поперечний переріз	Величина моменту опору W_z, см^3	ΔW_z, %
Оптимальний проект (рис. 10, б)	2392	1,3
Вдосконалений проект (рис. 11)	2424	

Аналітичне і експериментальне дослідження НДС вдосконаленого варіанту несучої конструкції колійної машини КРС-1 проведено у [2].

Оцінка міцності досліджуваної колійної машини виконувалася для транспортного режиму експлуатації.

Аналітичне дослідження НДС вдосконаленої несучої конструкції машини КРС-1 [2] показало, що міцність рами за допустимими напруженнями забезпечується, оскільки максимальні напруження у транспортному режимі, які становлять 146 МПа, не перевищують но-

 ISSN 1562-9945

рмативне значення $[\sigma] = 155$ МПа [5]. Також в результаті проведення аналітичного дослідження було виявлено, що міцність несучої конструкції машини КРС-1 забезпечується за коефіцієнтом запасу втомлювальної міцності, оскільки отримане значення цього коефіцієнту (для точки X6R $n = 1,96$ [2]) знаходиться у допустимих межах $[n] = 1,5$ [5, 6].

Для вдосконаленої несучої конструкції колійної машини КРС-1 були проведені ходові динамічні випробування на міцність Галузевою науково-дослідною лабораторією динаміки та міцності рухомого складу (ГНДЛ ДМРС) ДІІТу [2].

В результаті обробки експериментальних даних ходових динамічних випробувань на міцність було зроблено висновок, що міцність несучої конструкції рами рейкозварювальної колійної машини КРС-1 за коефіцієнтом запасу втомлювальної міцності забезпечується, оскільки отримані значення цього коефіцієнту (для точки X7R $n = 1,98$ [2]) знаходяться у допустимих межах $[n] = 1,5$ [5, 6].

Таким чином, в результаті аналізу аналітичного та експериментального досліджень, було встановлено, що міцність вдосконаленої несучої конструкції рами колійної машини КРС-1 у транспортному режимі забезпечена як допустимими напруженнями, так і за коефіцієнтами запасу втомлювальної міцності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соломонов, С. А. Путевые машины [Текст] / Соломонов С. А., Попович М. В. и др. – Желдориздат. – 2000. – 756 с.
2. Товт Б.М. Дослідження напружено-деформованого стану несучої конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1 [Текст] / Б. М. Товт, Є.М. Дзічковський, О.Є.Кривчиков//Вісник ДНУЗТу.–2011.– №38.
3. Кострица, С. А. Применение МКЭ к задачам оптимального проектирования несущих конструкций подвижного состава железнодорожного транспорта [Текст] / С. А. Кострица // Вісник ДНУЗТу. – 2003. – №1. – С. 127 – 129.
4. Кострица, С. А. Чисельна реалізація методів математичного програмування в задачах оптимального проектування механічних конструкцій [Текст] / С. А. Кострица, Б. М. Товт // Вісник ДНУЗТу. – 2009. – №30. – С. 150 – 154.
5. Нормы прочности металлоконструкций путевых машин. ОСТ 32.62-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
6. Система испытаний подвижного состава. Организация и порядок проведения приёмочных и сертификационных испытаний тягового подвижного состава. ОСТ 32.53-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.

УДК 519.24:681

А.В. Кошулян, В.П. Малайчук

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАННЫМ ИНТЕРВАЛОМ ДОПУСКА ПО МОДИФИЦИРОВАННОМУ КРИТЕРИЮ НЕЙМАНА-ПИРСОНА

Аннотация. Рассмотрена задача оптимального контроля качества изделий по параметру, который представляет собой случайную величину и для которого задан интервал допуска. Предлагается для партии однотипных изделий выбирать пороги контроля таким образом, чтобы минимизировать условную вероятность перебраковки при ограничении, что условная вероятность пропуска брака не должна превышать задаваемую критическую величину.

Ключевые слова: контроль качества, допуск, пропуск брака, перебраковка, критерий Неймана-Пирсона.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу контроля качества партии однотипных изделий по некоторому параметру, обозначенному H. Данный параметр является случайной величиной, так как для различных изделий из партии он может принимать то, или иное значение, причем неизвестно заранее, какое именно. Для контролируемого параметра H задано требование в виде интервала допуска – граничных значений H_1 и H_2. Параметр H и интервал допуска (H_1, H_2) определяют состояние изделий. Изделия, для которых значение параметра H удовлетворяет неравенству $H_1 \le H \le H_2$, считаются в норме, в противном случае, если $H < H_1$ или $H > H_2$, изделия являются бракованными. Эти показатели характеризуют технологию производства.

Истинное значение параметра H неизвестно, однако может быть оценено путем измерений. В результате измерений параметра H можно рассчитать его оценку $\overline{X}$. Оценка может быть средним значением измерений. Решение о состоянии изделия принимается не по значению параметра H, которое неизвестно, а по значению его оценки $\overline{X}$. Для контроля состояния изделий нужно выбрать пороги контроля

© Кошулян А.В., Малайчук В.П., 2011

 ISSN 1562-9945

H_1^* и H_2^*. В этом случае решение, что изделие в норме, будет приниматься, если для значения оценки $\overline{X}$ выполняется неравенство $H_1^* \le \overline{X} \le H_2^*$, иначе будет приниматься решение, что изделие бракованное.

Изделия, поступающие на контроль, могут находиться в состоянии нормы N или в состоянии брака (не норма) $\overline{N}$, а решения по результатам измерений $\overline{X}$ могут приниматься как норма N^* или брак (не норма) $\overline{N}^*$. Как состояния N и $\overline{N}$, так и решения N^* и $\overline{N}^*$ являются случайными событиями. В рассматриваемом случае результаты контроля представляют собой сложные события распознавания, состоящие из сочетания двух событий: NN^*, $N\overline{N}^*$, $\overline{N}\overline{N}^*$, $\overline{N}N^*$. Из них два сложных события $N\overline{N}^*$ и $\overline{N}N^*$ - это ошибочные решения контроля: перебраковка (когда годное изделие распознается как бракованное) и пропуск брака (когда бракованное изделие распознается как годное). Указанные сложные события можно представить в виде прямоугольных областей на плоскости, при этом вероятностями данных сложных событий будут вероятности попадания случайной точки с координатами $\left(\overline{X}, H\right)$ в данные области (рисунок 1).

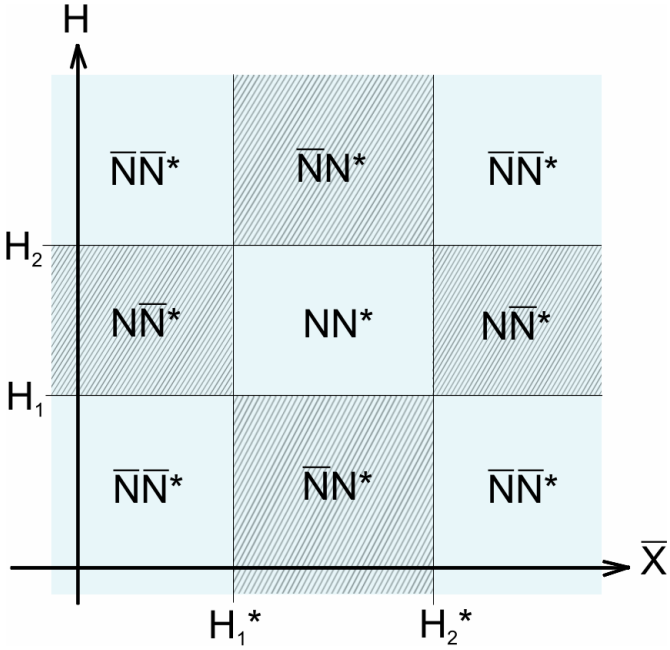


Рисунок 1 - Множество возможных сложных событий распознавания, соответствующих ошибочным и правильным решениям

Из рисунка 1 видно, что если сужать пороги контроля H_1^* и H_2^*, то вероятность пропуска брака будет уменьшаться, однако вероятность перебраковки – возрастать. Расширение порогов приведет к обратному эффекту. При этом, как видно, нельзя добиться одновременного уменьшения вероятностей пропуска брака и перебраковки. Таким образом, вероятности ошибочного распознавания являются функциями от порогов контроля $P\left(\overline{N}N^*\right) = P_{\overline{N}N^*}\left(H_1^*, H_2^*\right)$, $P\left(N\overline{N}^*\right) = P_{N\overline{N}^*}\left(H_1^*, H_2^*\right)$ и представляется возможным выбирать пороги контроля оптимальным образом, исходя из того, какое ошибочное решение является критичным для изделий того или иного класса.

Эффективность контроля зависит от условных вероятностей ошибочных решений: $P\left(N^* / \overline{N}\right)$ - условной вероятности пропуска брака и $P\left(\overline{N}^* / N\right)$ - условной вероятности перебраковки. Данные вероятности представляют собой вероятности ошибочных решений при условии контроля соответственно только бракованных или только годных изделий из партии и могут быть выражены через $P\left(\overline{N}N^*\right)$ и $P\left(N\overline{N}^*\right)$. В [1] приведен критерий минимизирующий сумму условных вероятностей ошибочных решений $P\left(N^* / \overline{N}\right) + P\left(\overline{N}^* / N\right)$, однако его применение не гарантирует, что одна из двух вероятностей, составляющая сумму, не превысит критическую для того или иного производства величину. Актуальной задачей является выбор порогов контроля H_1^* и H_2^* таким образом, чтобы обеспечить минимальную величину условной вероятности перебраковки, при условии, что условная вероятность пропуска брака не превысит некоторого критического значения P_0. Решающее правило распознавания при таком выборе порогов контроля соответствует модифицированному критерию Неймана-Пирсона.

Уравнения оптимальности

Условные вероятности ошибочных решений можно записать через безусловные вероятности[2]:

 ISSN 1562-9945

$$P\left(\overline{N}^{*} / N\right) = 1 - P\left(N^{*} / N\right) = 1 - \frac{P\left(NN^{*}\right)}{P\left(N\right)},$$

$$P\left(N^{*} / \overline{N}\right) = \frac{P\left(N^{*}\right) - P\left(NN^{*}\right)}{1 - P\left(N\right)},$$

где $P\left(N\right)$ - вероятность производственной нормы; $P\left(N^{*}\right)$ - вероятность решения «норма»; $P\left(NN^{*}\right)$ – вероятность правильного решения «норма».

Рассмотрим случай, когда законы распределения вероятностей параметра и его оценки абсолютно непрерывные и известны их плотности $W(H)$ и $W(\overline{X} / H)$, которые также всюду непрерывные. В этом случае может быть найдена двумерная плотность распределения параметра и оценки, двумерная функция распределения, а также плотность распределения оценки $W(\overline{X})$

$$W(\overline{X}, H) = W(H)W(\overline{X} / H), \;\; F(x,h) = \int_{-\infty}^{x}\int_{-\infty}^{h} W(\overline{X}, H)dHd\overline{X},$$

$$W(\overline{X}) = \int_{-\infty}^{\infty} W(\overline{X}, H)dH \,.(1)$$

С учетом этого, можно определить следующие вероятности [2]

$$P\left(N\right) = \int_{H_1}^{H_2} W(H)dH = F_H\left(H_2\right) - F_H\left(H_1\right),$$

$$P\left(N^{*}\right) = \int_{H_1^{*}}^{H_2^{*}} W(\overline{X})d\overline{X} = F_{\overline{X}}\left(H_2^{*}\right) - F_{\overline{X}}\left(H_1^{*}\right),$$

$$P\left(NN^{*}\right) = \int_{H_1^{*}}^{H_2^{*}}\int_{H_1}^{H_2} W(\overline{X}, H)dHd\overline{X} =$$

$$= F\left(H_2^{*}, H_2\right) - F\left(H_1^{*}, H_2\right) - F\left(H_2^{*}, H_1\right) + F\left(H_1^{*}, H_1\right).$$

Модифицированный критерий Неймана-Пирсона минимизирует условную вероятность перебраковки $P_{\overline{N}^{*}/N}\left(H_1^{*}, H_2^{*}\right)$ при заданном ограничении $g\left(H_1^{*}, H_2^{*}\right) = P_{N^{*}/\overline{N}}\left(H_1^{*}, H_2^{*}\right) - P_0$. Это задача нахождения условного минимума (экстремума) функции двух переменных

$P_{\overline{N}^*/N}\left(H_1^*, H_2^*\right)$ при условии связи $g\left(H_1^*, H_2^*\right)$. Для ее решения воспользуемся методом Лагранжа.

Введем ограничения области определения функций $P_{\overline{N}^*/N}\left(H_1^*, H_2^*\right)$ и $g\left(H_1^*, H_2^*\right)$, и рассмотрим их частные производные

$$-\infty < H_1^* < H_2^* < \infty,\ H_1^* < H_2,\ H_2^* > H_1,\ -\infty < H_1 < H_2 < \infty, \qquad (2)$$

$$\frac{\partial P_{\overline{N}^*/N}}{\partial H_1^*} = \frac{W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)}{P(N)}\left[F_{H/H_1^*}(H_2) - F_{H/H_1^*}(H_1)\right],$$

$$\frac{\partial P_{\overline{N}^*/N}}{\partial H_2^*} = -\frac{W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right)}{P(N)}\left[F_{H/H_2^*}(H_2) - F_{H/H_2^*}(H_1)\right],$$

$$\frac{\partial g}{\partial H_1^*} = \frac{W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)}{1-P(N)}\left[F_{H/H_1^*}(H_2) - F_{H/H_1^*}(H_1) - 1\right],$$

$$\frac{\partial g}{\partial H_2^*} = -\frac{W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right)}{1-P(N)}\left[F_{H/H_2^*}(H_2) - F_{H/H_2^*}(H_1) - 1\right].$$

где $$F_{H/H_{1,2}^*}\left(H_{1,2}\right) = F_{H/\overline{X}=H_{1,2}^*}\left(H_{1,2}\right) = \int_{-\infty}^{H_{1,2}} W\left(H / \overline{X} = H_{1,2}^*\right) dH,$$

$W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right) = W\left(\overline{X} = H_2^*\right)$.

Как видно, функции $P_{\overline{N}^*/N}\left(H_1^*, H_2^*\right)$ и $g\left(H_1^*, H_2^*\right)$ дифференцируемые при всех значениях аргументов: для них существуют частные производные, которые являются непрерывными функциями. Непрерывность $W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)$ следует из непрерывности $W(H)$ и $W(\overline{X} / H)$, как произведения непрерывных функций, а функции $F_{H/H_{1,2}^*}$ непрерывны по определению. Якобиан $\dfrac{D(g)}{D\left(H_1^*\right)} = \dfrac{\partial g}{\partial H_1^*} \neq 0$, откуда следует, что должно выполняться необходимое условие $W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right) \neq 0$. В этом случае можно записать функцию Лагранжа и выразить ее через безусловные вероятности

$$L(H_1^*, H_2^*, \lambda) = 1 - \frac{1 + P(N)(\lambda - 1)}{P(N)\left(1 - P(N)\right)} P_{NN^*}\left(H_1^*, H_2^*\right) + \lambda\left[\frac{P_{N^*}\left(H_1^*, H_2^*\right)}{1 - P(N)} - P_0\right], \qquad (3)$$

 ISSN 1562-9945

где λ - множитель Лагранжа.

Необходимое условие условного экстремума представляется в виде системы уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial H_1^*} L(H_1^*, H_2^*, \lambda) = 0, \\ \dfrac{\partial}{\partial H_2^*} L(H_1^*, H_2^*, \lambda) = 0, \\ g = P_{N^*/\overline{N}}\left(H_1^*, H_2^*\right) - P_0 = 0, \\ W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right) \neq 0. \end{cases} \tag{4}$$

Определим частные производные системы (4)

$$\frac{\partial L}{\partial H_1^*} = \frac{1 + P(N)(\lambda - 1)}{P(N)(1 - P(N))} W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)\left[F_{H/H_1^*}(H_2) - F_{H/H_1^*}(H_1) - \frac{\lambda P(N)}{1 + P(N)(\lambda - 1)}\right]$$

$$\frac{\partial L}{\partial H_2^*} = -\frac{1 + P(N)(\lambda - 1)}{P(N)(1 - P(N))} W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right)\left[F_{H/H_2^*}(H_2) - F_{H/H_2^*}(H_1) - \frac{\lambda P(N)}{1 + P(N)(\lambda - 1)}\right]$$

$$g = \frac{1}{1 - P(N)}\left[F_{\overline{X}}\left(H_2^*\right) - F_{\overline{X}}\left(H_1^*\right) - F\left(H_2^*, H_2\right) + F\left(H_1^*, H_2\right) + F\left(H_2^*, H_1\right) - F\left(H_1^*, H_1\right)\right] - P_0$$

Подставив найденные частные производные в (4), а также добавив уравнение для $P(N)$, получим систему

$$\begin{cases} P(N) = F_H(H_2) - F_H(H_1), \\ F_{H/H_1^*}(H_2) - F_{H/H_1^*}(H_1) = \dfrac{\lambda P(N)}{1 + P(N)(\lambda - 1)}, \\ F_{H/H_2^*}(H_2) - F_{H/H_2^*}(H_1) = \dfrac{\lambda P(N)}{1 + P(N)(\lambda - 1)}, \\ F_{\overline{X}}\left(H_2^*\right) - F_{\overline{X}}\left(H_1^*\right) + F\left(H_1^*, H_2\right) - F\left(H_2^*, H_2\right) + F\left(H_2^*, H_1\right) - F\left(H_1^*, H_1\right) = \\ = P_0\left(1 - P(N)\right), \\ W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right) \neq 0. \end{cases} \tag{5}$$

Рассмотрим достаточные условия минимума. Пусть найдена некоторая стационарная точка $M_0 = \left\{H_1^*, H_2^*\right\}$, а также соответствующий ей множитель λ. В этом случае достаточно, чтобы определитель матрицы H был отрицательной величиной (в данном случае угловой минор H_3 совпадает с определителем)[3].

$$\mathrm{H}=\begin{pmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & 0 \\ a_{13} & 0 & a_{33} \end{pmatrix},\ a_{12}=\frac{\partial g\left(M_0\right)}{\partial H_1^*},\ a_{13}=\frac{\partial g\left(M_0\right)}{\partial H_2^*},$$

$$a_{23}=\frac{\partial^2 L\left(M_0\right)}{\partial H_1^* \partial H_2^*}=\frac{\partial^2 L\left(M_0\right)}{\partial H_2^* \partial H_1^*}=0,$$

$$a_{22}=\frac{\partial^2 L\left(M_0\right)}{\left(\partial H_1^*\right)^2}=\frac{1+P(N)(\lambda-1)}{P(N)(1-P(N))}\times$$

$$\times\left[\begin{array}{l} \dfrac{dW_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)}{dH_1^*}\left(F_{H/H_1^*}\left(H_2\right)-F_{H/H_1^*}\left(H_1\right)-\dfrac{\lambda P(N)}{1+P(N)(\lambda-1)}\right)+ \\ +W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)\left(\dfrac{dF_{H/H_1^*}\left(H_2\right)}{dH_1^*}-\dfrac{dF_{H/H_1^*}\left(H_1\right)}{dH_1^*}\right) \end{array}\right],$$

$$a_{33}=\frac{\partial^2 L\left(M_0\right)}{\left(\partial H_2^*\right)^2}=-\frac{1+P(N)(\lambda-1)}{P(N)(1-P(N))}\times$$

$$\times\left[\begin{array}{l} \dfrac{dW_{\overline{X}}\left(H_2^*\right)}{dH_2^*}\left(F_{H/H_2^*}\left(H_2\right)-F_{H/H_2^*}\left(H_1\right)-\dfrac{\lambda P(N)}{1+P(N)(\lambda-1)}\right)+ \\ +W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right)\left(\dfrac{dF_{H/H_2^*}\left(H_2\right)}{dH_2^*}-\dfrac{dF_{H/H_2^*}\left(H_1\right)}{dH_2^*}\right) \end{array}\right].$$

Плотности $W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)$ и $W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right)$ должны быть дифференцируемые в точке M_0, $\det \mathrm{H}=-a_{33}a_{12}^2-a_{22}a_{13}^2$. Таким образом, достаточное условие минимума $a_{33}a_{12}^2+a_{22}a_{13}^2>0$ можно записать как

$$\frac{\partial^2 L\left(M_0\right)}{\left(\partial H_2^*\right)^2}\left(\frac{\partial g\left(M_0\right)}{\partial H_1^*}\right)^2+\frac{\partial^2 L\left(M_0\right)}{\left(\partial H_1^*\right)^2}\left(\frac{\partial g\left(M_0\right)}{\partial H_2^*}\right)^2>0. \qquad (6)$$

Совместное решение системы (5) и неравенства (6) после элементарных преобразований позволяет записать достаточное условие локального условного минимума в виде

$$\left[1+P(N)(\lambda-1)\right]\times$$
$$\times\left[W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right)\frac{d}{dH_1^*}\left(F_{H/H_1^*}\left(H_2\right)-F_{H/H_1^*}\left(H_1\right)\right)-W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right)\frac{d}{dH_2^*}\left(F_{H/H_2^*}\left(H_2\right)-F_{H/H_2^*}\left(H_1\right)\right)\right]>0 \qquad (7)$$

 ISSN 1562-9945

Из системы (5), с учетом ограничений (2), следует неравенство $0 < \lambda P(N)/(1 + P(N)(\lambda - 1)) < 1$, из которого также следует, что $\lambda > 0$. Так как множество λ должно быть положительным, то положительными должны быть и значения выражения $1 + P(N)(\lambda - 1)$, которое при положительных значениях λ никогда не равно нулю. Поэтому достаточное условие (7) можно упростить и записать в виде

$$W_{\overline{X}}(H_2^*)\frac{d}{dH_1^*}\left(F_{H/H_1^*}(H_2) - F_{H/H_1^*}(H_1)\right) - W_{\overline{X}}(H_1^*)\frac{d}{dH_2^*}\left(F_{H/H_2^*}(H_2) - F_{H/H_2^*}(H_1)\right) > 0 \quad (8)$$

Функции F_{H/H_1^*} и $F_{H/H_2^*}(H_2)$ принадлежат одному параметрическому семейству, однако их параметры зависят от неизвестных H_1^* и H_2^*. Исходя из этого, представляется возможным ввести функцию $\Delta F(H^*) = \Delta F(H^*, H_1, H_2) = F_{H/H^*}(H_2) - F_{H/H^*}(H_1)$. В силу положительной определенности $W_{\overline{X}}(H_2^*)$ и $W_{\overline{X}}(H_1^*)$, а также потребовав, чтобы $W_{\overline{X}}(H_2^*) \neq 0$, неравенство (8) можно записать в виде

$$\frac{\Delta F'(H_1^*)}{W_{\overline{X}}(H_1^*)} > \frac{\Delta F'(H_2^*)}{W_{\overline{X}}(H_2^*)}, \quad (9)$$

где $\Delta F'(H^*) = \dfrac{d}{dH^*}\Delta F(H^*)$.

Таким образом, для условного минимума достаточно, чтобы приращение функции $G(H^*) = \Delta F'(H^*)/W_{\overline{X}}(H^*)$ на участке $[H_1^*, H_2^*]$ было отрицательным $G(H_1^*) - G(H_2^*) > 0$.

С учетом (5) множитель λ можно исключить и свести систему уравнений к системе двух уравнений с двумя неизвестными.

$$\begin{cases} \Delta F(H^*) = F_{H/H^*}(H_2) - F_{H/H^*}(H_1), \quad G(H^*) = \dfrac{\Delta F'(H^*)}{W_{\overline{X}}(H^*)}, \\ P(N) = F_H(H_2) - F_H(H_1), \\ \Delta F(H_1^*) = \Delta F(H_2^*), \\ F_{\overline{X}}(H_2^*) - F_{\overline{X}}(H_1^*) + F(H_1^*, H_2) - F(H_2^*, H_2) + F(H_2^*, H_1) - F(H_1^*, H_1) = \\ = P_0(1 - P(N)), \\ G(H_1^*) > G(H_2^*), \quad W_{\overline{X}}(H_1^*) \neq 0, \quad W_{\overline{X}}(H_2^*) \neq 0, \quad H_2^* > H_1^*. \end{cases} \quad (9)$$

Следует заметить, что если была найдена точка $M_0 = \left\{H_1^*, H_2^*\right\}$, удовлетворяющая условию (9), то данная точка необходимо и достаточно является точкой условного локального минимума. Если данная точка удовлетворяет необходимому условию, но не достаточному, то заключить, что данная точка не является условным минимумом нельзя. При решении системы (9) численными методами рекомендуется:

1) в случае отсутствия качественных аппроксимаций функций распределений, являющихся несобственными интегралами от плотностей, использовать определенные интегралы с пределами H_1^*, H_2^*, H_1, H_2;

2) в качестве начальных приближений выбрать значения $M_0 = \left\{H_1^* = H_1,\ H_2^* = H_2\right\}$;

3) область локализации решений ограничить интервалом $H_1^* \in \left[\frac{3H_1 - H_2}{2}, \frac{H_1 + H_2}{2}\right)$, $H_2^* \in \left(\frac{H_1 + H_2}{2}, \frac{3H_2 - H_1}{2}\right]$;

4) точность определения H_1^*, H_2^* не должна превышать точности, с которой известна дисперсия $D\left[\overline{X} / H\right]$, или параметры плотности распределения $W\left(\overline{X} / H\right)$, через которые она выражается.

Если в результате решения было найдено несколько точек условного локального минимума $M_{0i} = \left\{H_1^*, H_2^*\right\}$, то среди всех нужно оставить ту, при которой вероятность перебраковки $P_{\overline{N}^*/N}\left(H_1^*, H_2^*\right)$ наименьшая.

Нормальное распределение параметра и ошибок

Если технологический процесс изготовления изделий подвержен влиянию большого числа неконтролируемых мешающих случайных факторов одинаковой силы, тогда контролируемый параметр H, как случайная величина, может быть описан нормальным законом распределения. Ошибки измерений, тоже, как правило, нормальные. В этом случае плотности распределения $W(H)$ и $W\left(\overline{X} / H\right)$ можно аппроксимировать законом распределения Гаусса

 ISSN 1562-9945

$$W(H)=\frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\left(H-H_T\right)^2}{2\sigma_T^2}\right),$$

$$W(\overline{X}/H)=\frac{1}{\sigma_{\overline{X}/H}\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\left(\overline{X}-H\right)^2}{2\sigma_{\overline{X}/H}^2}\right). \qquad (10)$$

Используя (1) и (10) можно показать, что закон распределения оценки $W\left(\overline{X}\right)$ также нормальный, причем $M\left[\overline{X}\right]=H_T$, $\sigma\left[\overline{X}\right]=\sigma_{\overline{X}}=\sqrt{\sigma_T^2+\sigma_{\overline{X}/H}^2}$. Также можно показать, что коэффициент корреляции ρ между оценкой $\overline{X}$ и параметром H равен

$$\rho=\frac{\sigma_T}{\sigma_{\overline{X}}}=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\sigma_{\overline{X}/H}}{\sigma_T}\right)^2}} \qquad (11)$$

Из (11) видно, что при безошибочных измерениях параметра $\sigma_T >> \sigma_{\overline{X}/H}$, $\rho=1$ и значение оценки $\overline{X}$ является значением параметра H. При больших ошибках $\sigma_{\overline{X}/H} >> \sigma_T$ оценка и параметр почти независимы.

Условный закон распределения

$$W(H/\overline{X})=\frac{W(H)W\left(\overline{X}/H\right)}{W(\overline{X})}=\frac{1}{\sigma_{H/\overline{X}}\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\left(H-a\left(\overline{X}\right)\right)^2}{2\sigma_{H/\overline{X}}^2}\right),$$

где $a\left(\overline{X}\right)=\dfrac{\overline{X}\sigma_T^2+H_T\sigma_{\overline{X}/H}^2}{\sigma_T^2+\sigma_{\overline{X}/H}^2}$, $\sigma_{H/\overline{X}}^2=\dfrac{\sigma_T^2\sigma_{\overline{X}/H}^2}{\sigma_T^2+\sigma_{\overline{X}/H}^2}$.

Определим $\Delta F(H^*)$ и $G\left(H^*\right)$

$$\Delta F(H^*)=F_{H/H^*}\left(H_2\right)-F_{H/H^*}\left(H_1\right)=\Phi\left(\frac{H_2-a(H^*)}{\sigma_{H/\overline{X}}}\right)-\Phi\left(\frac{H_1-a(H^*)}{\sigma_{H/\overline{X}}}\right);$$

$$G\left(H^*\right)=\frac{\Delta F'\left(H^*\right)}{W_{\overline{X}}\left(H^*\right)}=\left\{\frac{d}{dH^*}\Phi\left(\frac{H-a(H^*)}{\sigma_{H/\overline{X}}}\right)=-\rho^2W\left(H/H^*\right)\right\}=$$

$$=\rho^2\frac{W\left(H_1/H^*\right)-W\left(H_2/H^*\right)}{W_{\overline{X}}\left(H^*\right)};$$

Подставив функции для нормального закона распределения в систему (9), получим

$$\begin{cases} P(N) = \Phi\left(\dfrac{H_2 - H_T}{\sigma_T}\right) - \Phi\left(\dfrac{H_1 - H_T}{\sigma_T}\right), \\ \Delta F\left(H_1^*\right) = \Delta F\left(H_2^*\right), \\ \Phi\left(\dfrac{H_2^* - H_T}{\sigma_{\overline{X}}}\right) - \Phi\left(\dfrac{H_1^* - H_T}{\sigma_{\overline{X}}}\right) + F_{0,1,\rho}\left[\left(\dfrac{H_1^* - H_T}{\sigma_{\overline{X}}}\right), \left(\dfrac{H_2 - H_T}{\sigma_T}\right)\right] - \\ -F_{0,1,\rho}\left[\left(\dfrac{H_2^* - H_T}{\sigma_{\overline{X}}}\right), \left(\dfrac{H_2 - H_T}{\sigma_T}\right)\right] + F_{0,1,\rho}\left[\left(\dfrac{H_2^* - H_T}{\sigma_{\overline{X}}}\right), \left(\dfrac{H_1 - H_T}{\sigma_T}\right)\right] - \\ -F_{0,1,\rho}\left[\left(\dfrac{H_1^* - H_T}{\sigma_{\overline{X}}}\right), \left(\dfrac{H_1 - H_T}{\sigma_T}\right)\right] = P_0\left(1 - P(N)\right), \\ G\left(H_1^*\right) > G\left(H_2^*\right), \quad W_{\overline{X}}\left(H_1^*\right) \neq 0, \quad W_{\overline{X}}\left(H_2^*\right) \neq 0, \quad H_2^* > H_1^*. \end{cases} \qquad 12)$$

где $\Phi(x) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}} \int\limits_{-\infty}^{x} \exp\left(-\dfrac{t^2}{2}\right) dt$ – интеграл вероятности Гаусса;

$F_{0,1,\rho}(x,h)$ – двумерная функция нормального распределения с нулевыми математическими ожиданиями, единичными дисперсиями и коэффициентом корреляции ρ.

Численное решение системы (12) позволяет найти пороги контроля H_1^*, H_2^*. Для аппроксимации двумерной функции нормального распределения рекомендуется использовать алгоритм [4], поскольку для него, в отличие от других, ошибка аппроксимации убывает с ростом ρ. Для аппроксимации одномерной функции нормального распределения может быть использован алгоритм [5].

Выводы

1. Сформулирована задача выбора порогов контроля качества по модифицированному критерию Неймана-Пирсона для изделий, контролируемый параметр которых является случайной величиной, измеряется с ошибками и для которого задан интервал допуска.

2. Получены в общем виде уравнения для определения порогов контроля по модифицированному критерию Неймана-Пирсона в задаче контроля качества объектов со случайными параметрами и за-

 ISSN 1562-9945

данными интервалами допуска. Определены необходимые и достаточные условия, которым должны удовлетворять пороги контроля.

3. Предложен алгоритм численного решения уравнений для определения порогов контроля с использованием известных аппроксимаций гауссовых законов распределения вероятностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошулян А.В. Задача оптимального контроля качества изделий со случайными параметрами/ А.В. Кошулян, В.П. Малайчук, А.В. Мозговой // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – с. 91-99.
2. Малайчук В.П.Контроль объектов со случайными параметрами / В.П. Малайчук, А.В. Кошулян, Н.А Лысенко// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 3(68). – Днепропетровск, 2010. – с. 20-25.
3. Колыбасова В.В. Достаточные условия существования решения задачи об условном экстремуме методом Лагранжа [Электронный ресурс]: методическое пособие для студентов физического факультета МГУ, изучающих математический анализ / В.В. Колыбасова, Н.Ч. Крутицкая//Методическое пособие – 20с. Режим доступа: http://matematika.phys.msu.ru/files/stud_gen/20/Lagrange.pdf
4. Albers, Willem and Kallenberg, Wilbert C.M. (1994) A simple approximation to the bivariate normal distribution with large correlation coefficient. Journal of Multivariate Analysis, 49 (1). pp. 87-96. ISSN 0047-259X
5. Shannon R. Bowling, Mohammad T. Khasawneh, Sittichai Kaewkuekool, Byung Rae Cho. (2010) A logistic approximation to the cumulative normal distribution. Journal of Industrial Engineering and Management, - 2(1), pp. 114-127. ISSN 2013-0953

УДК 004.021

И.А. Дорош, С.В. Тарасов, М.Г. Снегирев

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТНОГО ПОДВЕСА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. Работа посвящена разработке алгоритма и созданию программного средства для расчета параметров магнитного поля в системе подвеса ротора для вертикально-осевой ветроэлектрической установки с Н-ротором Дарье.

Ключевые слова: магнитный подвес, ветроэлектрическая установка, Н-ротор Дарье, магнитостатический подвес, магнитная решетка Хальбаха, программное средство.

Постановка проблемы

Эффективным способом снижения моментов сопротивления в опорно-поворотных узлах ВЭУ с Н-ротором Дарье, одновременно приводящим к существенному упрощению их кинематических схем, является применение систем подвешивания на постоянных магнитах.

В работе рассматривается магнитостатический подвес, принцип действия которого основан на взаимодействии между источниками постоянных магнитных полей. В качестве источников магнитных полей предлагается использовать постоянные магниты.

В зазоре между постоянными магнитами концентрируется магнитное поле, от величины которого зависят отталкивающие или притягивающие усилия.

Одним из способов увеличить магнитное поле, и как следствие, силу взаимодействия, является магнитная решетка Хальбаха [1], представляющая собой систему постоянных магнитов, расположенных по особой схеме, в соответствии с которой вектор индукции каждого последующего магнита повернут на определенный угол по отношению к предыдущему. При этом поле с одной стороны полученного массива становится существенно больше чем с другой.

В этом случае актуальной становится задача определения параметров магнитного поля в зазоре магнитного подвеса, в том числе и

© Дорош И.А., Тарасов С.В., Снегирев М.Г., 2011

 ISSN 1562-9945

визуализации картины распределения магнитной индукции для систем постоянных магнитов.

К основным вычисляемым параметрам относится трёхмерное распределение величины магнитной индукции, значения силы и момента сил взаимодействия массивов постоянных магнитов.

Таким образом, в работе предлагается методика количественной оценки магнитной индукции, силы взаимодействия массивов постоянных магнитов и визуализации результатов.

Анализ последних достижений

Применение современных компьютерных технологий позволяют значительной мере упростить изучение магнитных свойств магнитных систем.

В настоящее время для решения задач магнитостатики разработан ряд программных комплексов, однако особенности конфигурации исследуемой системы требуют задания особых граничных условий, которые сложно, а иногда и невозможно реализовать существующими программными средствами.

Формулировка цели

Целью работы является разработка алгоритма и создание программного средства для определения параметров магнитного поля в магнитостатическом подвесе, а также для визуализации полученных результатов.

Основная часть

В работе разработан алгоритм и программное средство для расчета параметров магнитного поля массива постоянных магнитов. Особенность программы заключается в возможности расчета таких конфигураций массивов магнитов, в которых векторы магнитного поля магнитов направлены в разные стороны. Примером такой конфигурации магнитного массива с изменяющимся направлением магнитного поля может служить магнитная решетка Хальбаха.

Алгоритм разработанного программного средства базируется на дипольном представлении эелементов постоянного магнита [2] (рис. 1). Каждый постоянный магнит массива рассматривается как совокупность некоторого набора магнитных диполей.

Сила, действующая на второй диполь со стороны первого можно представить как отношении потенциальной энергии к перемещению, т.е. радиус-вектору.

$$\vec{F} = -\frac{\partial U}{\partial \vec{R}} \tag{1}$$

где ∂U – изменение энергии; $\vec{R}$ – радиус-вектор соединяющий центры диполей.

Диполь во внешнем магнитном поле имеет потенциальную энергию равную

$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B} \tag{2}$$

где $\vec{m}$ - вектор магнитного дипольного момента; $\vec{B}$ - величина магнитной индукции системы диполей.

Выражение магнитного поля одиночного диполя имеет вид

$$\vec{B} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 c^2} \frac{3(\vec{m} \cdot \vec{R})\vec{R} - \vec{m}\, R^2}{R^5} \tag{3}$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, c – скорость света в вакууме.

С учетом (1) и (2) выражение для силы взаимодействия двух элементарных магнитных диполей с векторными дипольными моментами $\bar{m}_1$ и $\bar{m}_2$ можно записать в виде

$$\bar{F} = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0 c^2} \frac{1}{R^5} \left(\bar{m}_1(\bar{m}_2 \cdot \bar{R}) + \bar{m}_2(\bar{m}_1 \cdot \bar{R}) + \bar{R}\left((\bar{m}_1 \cdot \bar{m}_2) - 5\frac{(\bar{m}_1 \cdot \bar{R})(\bar{m}_2 \cdot \bar{R})}{R^2} \right) \right) \tag{4}$$

Таким образом, сила взаимодействия массивов в магнитостатическом подвесе определяется как суперпозиция взаимодействий элементарных диполей, принадлежащих разным магнитным системам. На рисунке 1 показана такая система, состоящая из двух массивов Хальбаха.

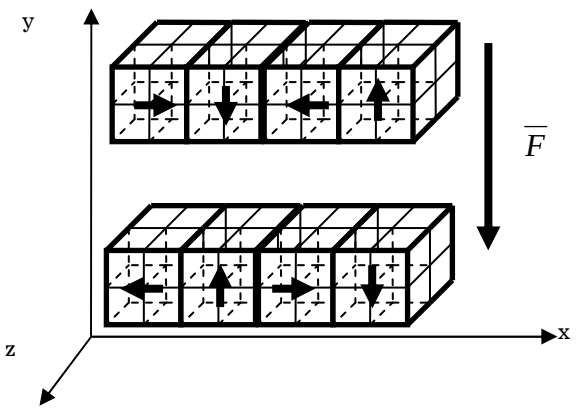


Рисунок 1 – Дипольное представление массивов постоянных магнитов

 ISSN 1562-9945

Магниты, входящие в массив представляются как набор элементарных элементов-диполей, поле каждого из которых описывается уравнением (5). Позиция каждого элемента в представленном массиве определяется выражениями

$$\begin{aligned} X &= X_0 + (k-1)(d_x / n_x) + d_x / 2n_x \\ Y &= Y_0 + (k-1)(d_y / n_y) + d_y / 2n_y \\ Z &= Z_0 + (k-1)(d_z / n_z) + d_z / 2n_z \end{aligned} \qquad (5)$$

где X, Y, Z – координаты искомого элемента; X_0, Y_0, Z_0 – координаты первого элемента первого магнита в массиве; k – номер искомого элемента; d – длина соответствующей стороны магнита; n – количество элементов-разбиений в магните.

Разработанный алгоритм реализован в программном средстве, которое использует возможности среды MATLAB.

Для получения результатов необходимо задать начальные условия, а именно: размеры элементов массивов (геометрические размеры постоянного магнита); количество разбиений элемента массива; расстояние между системы магнитов до точки (плоскости), в которой необходимо вычислить магнитное поле; направление магнитного поля элементов массива; величина магнитной индукции материала постоянного магнита; начальные координаты массивов постоянных магнитов. Параметры можно ввести в специальном окне (рис. 2).

На рисунке 2 приведено окно программного средства, в котором указаны начальные условия.

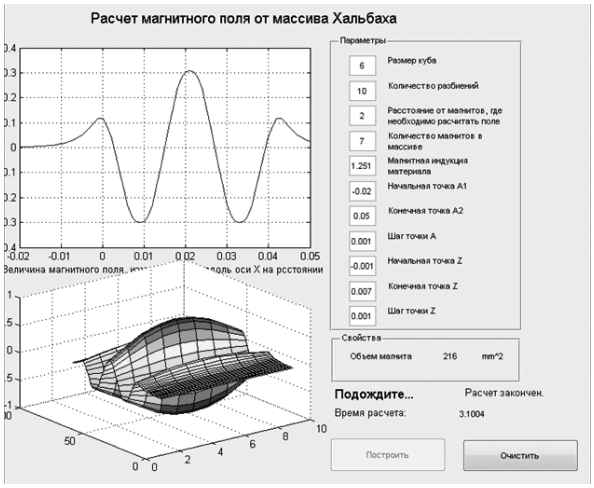
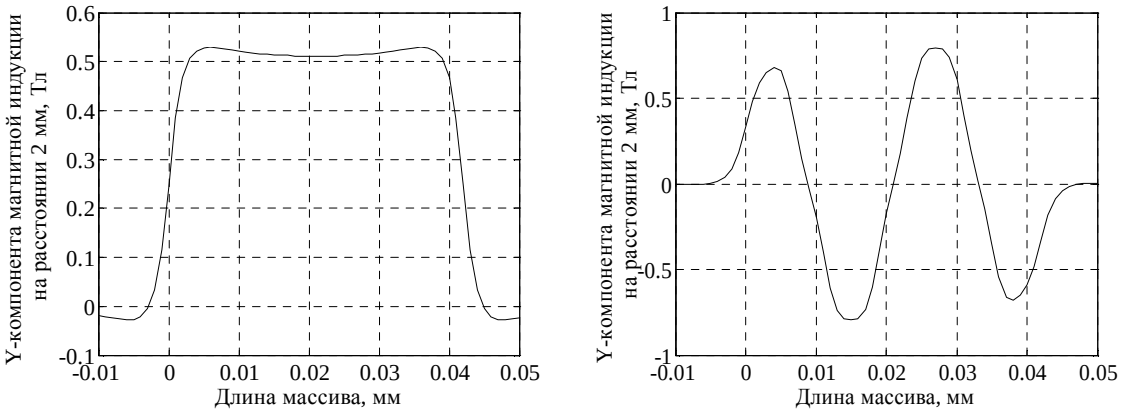


Рисунок 2 – Интерфейс программы

Программное средство позволяет также визуализировать распределение магнитной индукции вблизи массива постоянных магнитов в виде 2D- и 3D-графиков.

Графики изменения одной из компонент магнитного поля вдоль массива постоянных магнитов с различной ориентацией направления магнитного поля показаны на рисунке 3. На рисунке 3а приведен результат моделирования поля постоянных магнитов, магнитные поля каждого из которых ориентированы в одном направлении. На рисунке 3б показаны результаты моделирования магнитного поля магнитной решетки Хальбаха, полученная зависимость близка к синусоидальной.



а) б)

Рисунок 3 – Графики изменения Y-компоненты магнитного поля вдоль массива магнитов

На рисунке 4 представлен трёхмерный вид распределения Y-компоненты магнитного поля на плоскости, отстоящей на расстоянии 2 мм от массива Хальбаха.

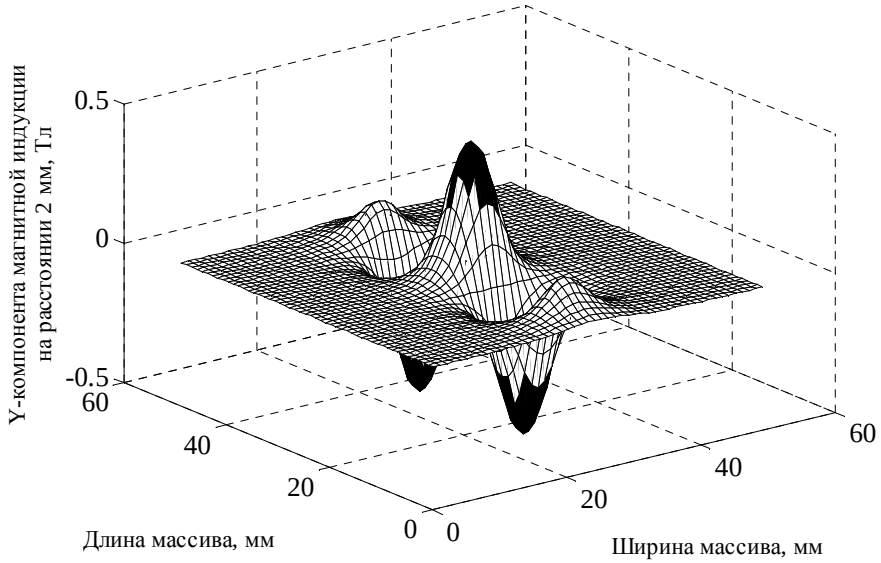


Рисунок 4 – Нормальная состовляющая магнитного поля массива Хальбаха

 ISSN 1562-9945

На рисунках 5, 6 приведены результаты определения возникающего подъемного усилия применительно к подвесу на постоянных магнитах на базе массивов Хальбаха, для которого характерно изменение направления магнитной индукции каждого следующего постоянного магнита по отношению к предыдущему. График на рисунке 5 соответствует расчетам силы взаимодействия двух массивов, когда направления вращения векторов магнитной индукции совпадают. График на рисунке 6 показывает силы взаимодействия двух массивов, когда направления вращения векторов магнитной индукции противоположны.

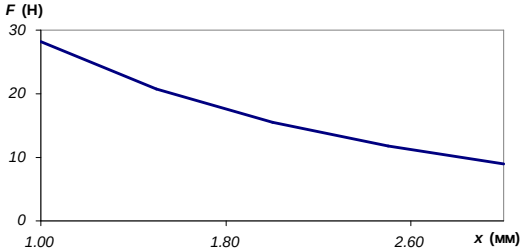


Рисунок 5 – Результаты расчета силы взаимодействия двух массивов, когда направления вращения векторов магнитной индукции совпадают

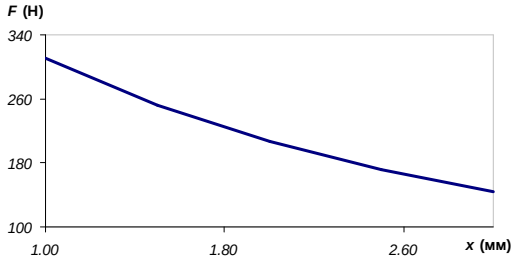


Рисунок 6 – Результаты расчета силы взаимодействия двух массивов, когда направления вращения векторов магнитной индукции противоположны

Сравнительный анализ результатов, приведенных на этих графиках, показывает, что при использовании двух массивов Хальбаха, сила взаимодействия больше для массива постоянных магнитов той конфигурации, у которой направления вращения векторов магнитной индукции противоположны.

Наиболее перспективной конфигурацией в плане достижения более высоких значений магнитного поля в зазоре является массив Хальбаха. Исследование массивов Хальбаха с четырьмя и восемью сегментами в виде геометрически идентичных постоянных магнитов

показало, что на малых расстояниях от их поверхности магнитное поле у восьмисегментного массива меньше по сравнению с четырехсегментным, но с увеличением расстояния результаты меняются на противоположные. При этом восьмисегментный массив Хальбаха создает высокое магнитное поле в области 0.5d и 0.7d (d –толщина магнита) и менее низкое его значение в области 0.25d и 0.1d, чем четырехсегментный. Таким образом, в зависимости от поставленной задачи может применяться необходимая конфигурация массива Хальбаха.

Выводы

Разработаны алгоритм и программное средство для изучения магнитных свойств систем, состоящих из массивов постоянных магнитов. Использовано дипольное представление постоянного магнита, учитываются магниты различной геометрической формы, рассматриваются массивы, магниты которых имеют различное направление вектора магнитной индукции.

С использованием разработанного программного средства проведены расчеты силы взаимодействия в магнитостатическом подвесе на постоянных магнитах при различных конфигурациях направления вектора магнитной индукции магнита.

Предлагаемое программное средство, позволяет определить параметры магнитного поля, которые необходимы для выбора оптимальной с точки зрения требуемых значений магнитной индукции, конфигурации постоянных магнитов в подвесах различного конструктивного исполнения. Кроме того, оно может быть использовано при оценке способности магнитостатического подвеса на постоянных магнитах создавать необходимые по величине магнитные усилия, достаточные для обеспечения магнитной левитации роторов вертикально-осевых ветроэлектрических установок с Н-ротором Дарье. Программа имеет возможнось для ее дальнейшего расширения для расчетов магнитных полей и сил от магнитных систем более сложных конфигураций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов С.В. Магнитолевитирующий подвес роторов вертикально-осевых ветроэлектрических установок с Н-ротором Дарье на базе массива Хальбаха / С.В. Тарасов, М.Г. Снегирев, И.А. Дорош // Техническая механика. – 2010. – №1. – с. 94-103.
2. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Учебное пособие. Том II. Теория поля – 7-ое издание / Л.Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1988. – 512 стр.

 ISSN 1562-9945

УДК 621.74.002.6:669.131.7

А.Ю. Хитько, Л.А. Шапран, В.Е. Хрычиков, Л.Х. Иванова,
С.В. Лазуренко

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАНДАЖИРОВАННЫХ РОЛИКОВ МНЛЗ

Аннотация. В работе представлены и проанализированы результаты промышленных экспериментов, посвященные анализу стойкости бандажированных роликов в МНЛЗ, что позволяет усовершенствовать технологию их изготовления.

Проблема и ее связь с научными и практическими результатами. Анализ условий эксплуатации роликов диаметром 370 и 380 мм на криволинейном участке слябовой МНЛЗ, для которых отливают заготовки сечением 300х1850 мм, показал, что резко увеличивалась отбраковка роликов по причине повышенного износа и образования развитой сетки термоусталостных трещин. Это объясняется применением вторичного охлаждения водовоздушной смесью на первых четырех секциях криволинейного участка в связи с увеличением протяженности жидкой фазы в непрерывнолитых заготовках сечением 300х1850 мм. Увеличилось также количество роликов, выходящих из строя на криволинейном участке по причине поломок. Как установлено, основной причиной этого являлось нарушение технологии изготовления цельнокованых роликов из хромомолибденванадиевой стали 25Х1М1Ф, в частности, несоблюдение режима термической обработки. Исследования свойств материалов этих роликов показали повышенную твердость и низкую ударную вязкость.

Известно [1], что существующая конструкция серийных цельнокованых роликов, изготовленных из поковок, исчерпала свои возможности. Увеличить стойкость роликов диаметром 370 и 380 мм возможно путем изменения их конструкции и применения новых материалов с повышенной разгаро- и износостойкостью.

© Хитько А.Ю., Шапран Л.А., Хрычиков В.Е., Иванова Л.Х., Лазуренко С.В., 2011

Применение известного способа восстановления роликов наплавкой нержавеющего сплава обеспечит увеличение только износостойкости. Комплексное решение задачи одновременного увеличения разгаро- и износостойкости роликов диаметром 370 и 380 мм было достигнуто применением бандажирования бочки роликов биметаллическими втулками (кольцами) с износостойким рабочим слоем, а, следовательно, увеличения стойкости роликов криволинейного участка слябовой МНЛЗ путем создания новой конструкции и применения износо- и разгароустойчивого материала для бочек роликов, для достижения чего решен комплекс исследований по созданию сквозной технологии изготовления составных роликов.

Цель работы заключалась в системном подходе к разработке технологии изготовления бандажированных роликов МНЛЗ с учетом их эксплуатации.

Основные результаты исследования

Особенностью проведенной работы явилось то, что она была начата испытаниями ранее изготовленных бандажированных роликов. Опытная партия роликов была установлена на радиальном участке седьмого ручья МНЛЗ № 4. В процессе эксплуатации несколько роликов вышли из строя по причине поломки оси в наиболее опасном сечении, где монтируется фиксатор. Установлено, что дополнительное ослабление данного сечения вызвано нарушением технологии изготовления роликов: увеличением глубины «глухих» отверстий и снижением прочностных свойств материала оси вследствие нарушения технологии сварки.

С целью увеличения прочности и жесткости оси ролика была уменьшена глубина отверстий под фиксаторы с 45 до 15 мм, а с целью увеличения жесткости всей конструкции роликов – уменьшен зазор между отдельными бандажами до 3 мм.

Кроме того, измерения исходных диаметров биметаллических бандажирующих колец перед монтажом роликов в секции показали, что максимальное отклонение диаметра колец от заданного составляет в центральной части бочек некоторых роликов 0,3 мм. Поэтому при совершенствовании технологии изготовления бандажированных роликов была предусмотрена шлифовка их поверхности.

В соответствии с выполненными усовершенствованиями была изготовлена опытная партия бандажированных роликов (80 шт) диа-

 ISSN 1562-9945

метром 270 и 300 мм, которыми были оснащены два радиальных участка девятого и десятого ручьев МНЛЗ № 5.

Измерение диаметров биметаллических бандажей роликов перед монтажом показало, что ролики выполнены в соответствии чертежами.

Следует отметить, что при изготовлении этой крупной партии бандажированных роликов в качестве заготовок для несущих осей были частично использованы отработанные ролики с неизвестной «биографией».

Первая опытная партия бандажированных роликов диаметром 270 и 300 мм в количестве 40 шт была установлена на радиальном участке седьмого ручья слябовой МНЛЗ № 4, на которой отливали непрерывнолитые заготовки толщиной 250 мм. Опытные секции были оснащены специальными измерительными устройствами, которые посредством стального тросика придавали возвратно-поступательное перемещение штока с измерительным роликом на реохордный датчик перемещения типа ЛХ-705, закрепленный вне МНЛЗ на стенке «бункера» зоны вторичного охлаждения. Сигнал датчиков перемещения с помощью специальной электрической схемы усиливался и регистрировался светолучевым осциллографом типа Н-115. Одновременно на осциллограмму записывали скорость разливки, изменяющуюся в зависимости от чередования технологических операций разливки на МНЛЗ. Измерения производили при пуске МНЛЗ № 4 непрерывно в течение двух серий плавок. Кроме того, для дискретного определения величины максимальных прогибов роликов опытные секции были оснащены специальными приспособлениями со штоками. По величине перемещения штоков определяли максимальный прогиб за серию плавок.

По результатам непрерывных измерений были построены графики изменения прогибов опытных роликов диаметром 270 и 300 мм в зависимости от скоростного режима работы МНЛЗ.

Установлено, что увеличение величины прогибов роликов диаметром 270 мм до 3...3,5 мм происходило в течение первых 30 мин разливки. Затем величина прогиба колебалась в пределах 1...3 мм в зависимости от скорости разливки (технологических операций) в течение всей серии плавок. Увеличение прогибов роликов диаметром 300 мм до величины 5...6 мм происходило в течение первых 40...50

мин с момента начала разливки. В дальнейшем величина прогибов роликов колебалась в пределах 2,5...6 мм. Максимальной величины прогибы роликов диаметром 300 мм достигали в конце серии плавок перед выходом холодного конца непрерывнолитой заготовки.

Периодические измерения через каждые 500...600 плавок также показали, что за межремонтную кампанию величина прогибов роликов диаметром 279 и 300 мм колебалась в пределах 2...3 и 3...6 мм соответственно.

В процессе эксплуатации наблюдали за конструкционной прочностью бандажированных роликов. В результате установлено, что на некоторых роликах были смещены бандажи, а часть роликов вышла из строя по причине поломки оси по наиболее опасному сечению с отверстием под фиксатор.

Анализ осмотра сечений разрушенных осей показал, что глубина отверстий под фиксаторы превышала заданные по чертежам размеры, была нарушена технология сварки с осью и заплавки полых фиксаторов. В связи с этим были внесены изменения в конструкцию роликов и технологию их изготовления.

Представляет особый интерес положительный результат испытания и внедрения бандажированных биметаллическими кольцами роликов на седьмом ручье МНЛЗ № 4. Все ролики, кроме замененных без дополнительной ревизии, были оставлены в МНЛЗ на повторный регламентный срок эксплуатации, так как исследования после первого межремонтного срока показали отсутствие на бандажах термоусталостных трещин сетки разгара, а максимальный износ не превышал 0,3 мм.

После завершения двух межремонтных сроков эксплуатации роликов были демонтированы с МНЛЗ № 4 и обследованы. Анализ результатов измерения износа центральных частей бочек крайних роликов показал, что максимальный износ опытных роликов за два межремонтных срока не превысил 0,6 мм, в то время как износ серийных роликов на сравнительном восьмом ручье МНЛЗ № 4 за один межремонтный срок составил 2,8...3,2 мм.

Визуальный осмотр бандажированных роликов после 2982 плавок наработки показал отсутствие развитой сетки трещин разгара на неприводных роликах и наличие развитой сетки разгара на отдельных центральных бандажах приводных роликов. Часть «верху-

 ISSN 1562-9945

шек» опытных секций, например, с роликами 300 мм, была поставлена на подмену на пятый ручей МНЛЗ № 3 (сляб 300 мм) с целью определения максимальной стойкости. Общая стойкость бандажированных роликов составила 4009 плавок.

В процессе эксплуатации МНЛЗ № 4 имели место остановки, связанные с прорывами. После прорывов секции с серийными коваными роликами, как правило, демонтируют из-за отсутствия возможности очистить кованые ролики от заливов стали. Опыт непрерывной эксплуатации бандажированных биметаллическими кольцами роликов в течение двух регламентных сроков показал отсутствие налипания и сваривания со сталью непрерывнолитых заготовок при прорывах, т.е. ролики с биметаллическими бандажами повышали ремонтопригодность роликовой проводки радиального участка МНЛЗ. В процессе эксплуатации МНЛЗ, в частности из-за нарушений нормального режима разливки, происходило нарушение настройки отдельных секций. В результате, в течение короткого срока (400...500 плавок), происходила неравномерная выработка кованых роликов и нарушение геометрии непрерывнолитых заготовок. В случае же нарушения настройки секции второго механизма неравномерная выработка бандажированных роликов в течение практически 1000 плавок после прорыва в среднем не превысила 0,6 мм.

Анализ результатов измерений износа показал, что в случае нарушения настройки (параллельности) верхней и нижней секций в кассетах происходил неравномерный износ роликов по длине бочки. Средняя величина износа составила 0,6 мм. Качество поверхности роликов было удовлетворительным. Приводные ролики после перешлифовки на ремонтный размер 264 мм, а неприводные без перешлифовки, могли быть установлены для продолжения эксплуатации.

Как отмечалось выше, опытная партия (80шт) бандажированных роликов диаметром 270 и 300 мм была изготовлена по усовершенствованной технологии с учетом изменений в конструкции роликов. При очередном капитальном ремонте МНЛЗ № 5 радиальные участки девятого и десятого ручьев были оснащены опытными роликами. В пусковой период производили измерения прогибов опытных роликов по усовершенствованной методике, по которой была предусмотрена установка реохордных датчиков с более высокой чувствительностью непосредственно на измерительные устройства в кассетах,

т.е. при этом исключалась погрешность, вносимая температурным расширением и пластической деформацией стального тросика, примененного ранее в измерительной схеме.

Измерения термоупругих характеристик бандажированных роликов на МНЛЗ № 5, отливающей слябы толщиной 300 мм, показали, что в течение первой серии плавок прогибы роликов диаметром 270 мм достигали величины 3...4 мм, а прогибы роликов диаметром 300 мм – 5...6 мм. Максимальные прогибы были зафиксированы при значительных снижениях скорости разливки. Средняя величина прогибов при устоявшемся режиме разливки 0,6...0,7 мм/мин составляла около 50 % от их максимальной величины.

Полученные данные подтверждают работу роликов с биметаллическими бандажами в упругой области и согласуются с данными по опытным роликам на МНЛЗ № 4. Увеличение прогибов опытных роликов МНЛЗ № 5 на 0,2...0,5 мм объясняется увеличением ферростатической составляющей нагрузки на ролики при литье сляба сечением 300x1850 мм.

В процессе эксплуатации МНЛЗ № 5 после 300 плавок произошло увеличение раствора между бандажированными роликами на 1,0...2,0 мм по технологической оси МНЛЗ, что отрицательно влияет на формирование непрерывнолитой заготовки на радиальном участке. Измерения раствора между серийными цельнокованными роликами замененных секций МНЛЗ № 5 показали аналогичные результаты.

С целью определения роли бандажированных и кованых роликов в таком значительном увеличении раствора по технологической линии провели сравнительные исследования прогибов роликов при воздействии статической нагрузки. Ролики, попарно установленные в двух опорах (на подшипниковых шейках), нагружались грузом массой 16 т. Измерения величины прогибов роликов проводили с помощью специального штатива и индексатора часового типа с точность ± 0,01 мм. Прогибы бандажированных и кованых роликов диаметром 270 мм составили соответственно 1,75 и 1,5 мм, роликов диаметром 300 мм – соответственно 1,0 и 0,8 мм.

Результаты измерений позволяют сделать вывод, что бандажированные и кованные ролики работают в упругой области. Установлено, что большие на 0,20...0,25 мм прогибы бандажированных по

 ISSN 1562-9945

сравнению с коваными роликов не могут быть причиной увеличения на 1...2 мм раствора между роликами.

После наработки 1384 плавок на МНЛЗ № 5 была остановлена на очередной плановый ремонт. Во время эксплуатации производили единичные подмены роликов, которые вышли из строя по причине изгиба или поломок осей, в частности, из-за нарушения режима охлаждения роликов. Поломки осей происходили не по фиксаторам, как в случае с роликами МНЛЗ № 4, а между бандажами. Это могло быть вызвано двумя причинами: недостаточной жесткостью осей роликов и низким уровнем свойств материала осей, для изготовления которых использовали отработавшие 1 и 2 кампании ролики производства Румынии, условия эксплуатации которых не известны.

При обследовании роликовых секций бандажированных роликов после 1384 плавок наработки установлено, что отклонение раствора между роликами вдоль технологической линии в средней части секции составило 0,15...0,3 мм. В одной секции с одной стороны обнаружено увеличение раствора на 1,5 мм по причине расслабления стяжки. Отклонения выставки роликов по шаблону в секциях по малому радиусу составляли 0,2 мм, по большому радиусу не более 0,3 мм. Ролики сохранили конструкцию, т.е. отсутствовало осевое смещение бандажей. Оценка разгаростойкости показала отсутствие термоусталостных трещин. Износ бандажей крайних (первых и пятых) роликов в секциях не превышал 0,3 мм. Осмотр опорных узлов показал отсутствие разрушенных подшипников.

Таким образом, техническое состояние роликовых секций, оснащенных бандажированными биметаллическими кольцами роликов позволило установить их без промежуточного обслуживания на следующий срок эксплуатации МНЛЗ № 5, которая была перестроена на отливку слябов толщиной 250 мм.

Выводы. Системный подход при анализе эксплуатации роликовых секций, оснащенных бандажированными биметаллическими кольцами роликов, позволил установить влияние и разработать усовершенствованную технологию их изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапран Л.А. Разработка и освоение технологии изготовления биметаллических центробежнолитых роликов машин непрерывного литья заготовок: дис. ...кандидата техн. наук: 05.16.04.– Д., 2009. – 214 с.

УДК 621.391.26: 616-07

В.И. Корсун, А.Е. Квятковский, Н.В. Глухова

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УРОФЛОУМЕТРИИ

Аннотация. Рассматриваются вопросы цифровой фильтрации данных, полученных при медицинских исследованиях с целью диагностики нарушений уродинамики. Приведены результаты автоматизированной классификации урофлоуметрических кривых с экспериментальным подтверждением ее достоверности.

Ключевые слова: цифровой фильтр, урофлоуметрия, нечеткая логика, графическое программирование.

Введение. Урофлоуметрия – неинвазивный метод диагностики патологи-ческих состояний нижних мочевых путей, который заключается в измерении скорости потока мочи посредством определения выделенного объема мочи в единицу времени. Прибор для урофлоуметрических исследований представляет собой весы, при помощи которых косвенным образом получают информацию об объеме выделенной мочи [1, 2]. Современные аппараты для урофлоуметрии (например, «Поток-К») обеспечивают возможность ввода в компьютер изменения объема накопленной жидкости в процессе лабораторного исследования и автоматическое вычисление числовых значений таких интегральных показателей: средняя объемная скорость потока мочи (мл/с); максимальная объемная скорость потока (мл/с); время мочеиспускания (с); объем мочеиспускания (мл) и др.

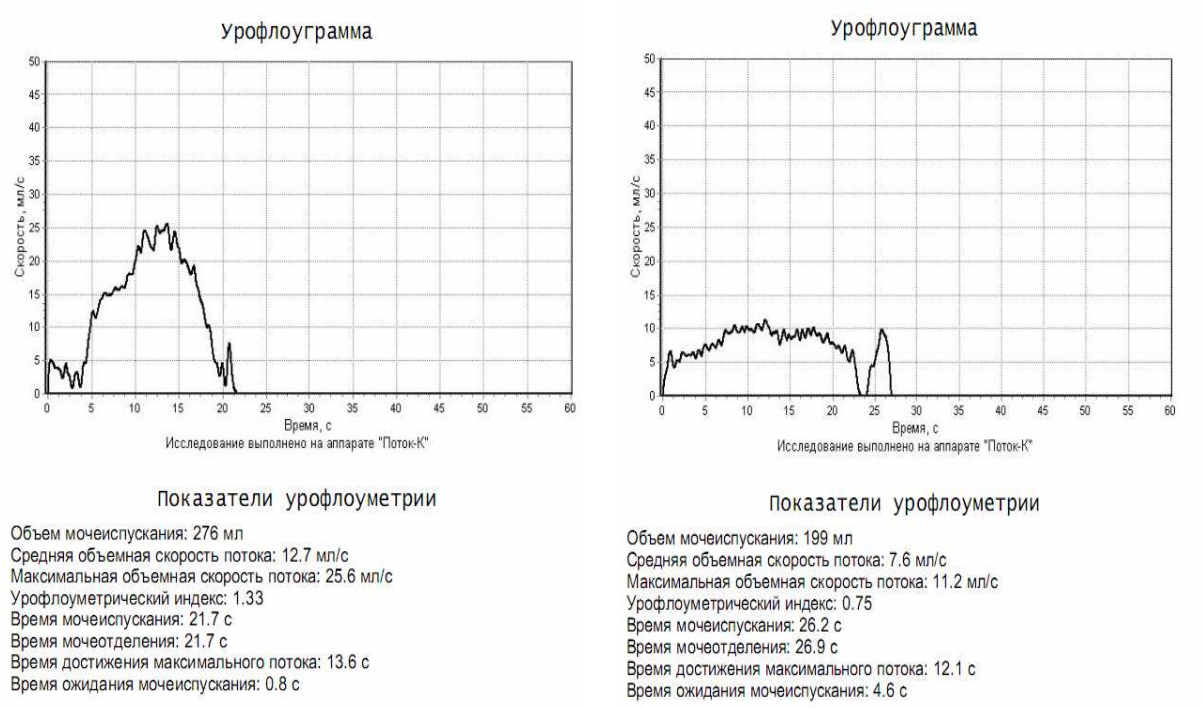
Медицинская диагностика нарушений уродинамики основана на анализе числовых значений интегральных показателей и локальных особенностей графической зависимости объемной скорости от времени (рис. 1).

Постановка проблемы. На характер урофлоуметрической кривой могут оказывать значительное влияние субъективные факторы – волнение пациента, непривычная обстановка, поэтому, рекомендуют провести 2-3 исследования для исключения случайных воздействий. Кроме того, урофлоуметрические исследования проводят несколько

© Корсун В.И., Квятковский А.Е., Глухова Н.В., 2011

 ISSN 1562-9945

раз в течение курса лечения пациента для контроля результатов и корректировки выбранной схемы лечения. Таким образом, медицинский персонал сталкивается с необходимостью обработки большого количества не только числовых, но и графических данных. Существует необходимость разработки компьютерных программ для проведения урофлоуметрии при массовых скрининговых исследованиях с целью автоматического получения предварительного заключения. В связи с этим, актуальной является задача разработки автоматизированных программных средств анализа результатов урофлоуметрии. Исходными данными служат оцифрованные результаты изменения объема выделенной мочи (мл) от времени (рис. 2).



а) б)

Рисунок 1 – Урофлоуграммы и интегральные показатели урофлоуметрии, полученные на аппарате «Поток-К»

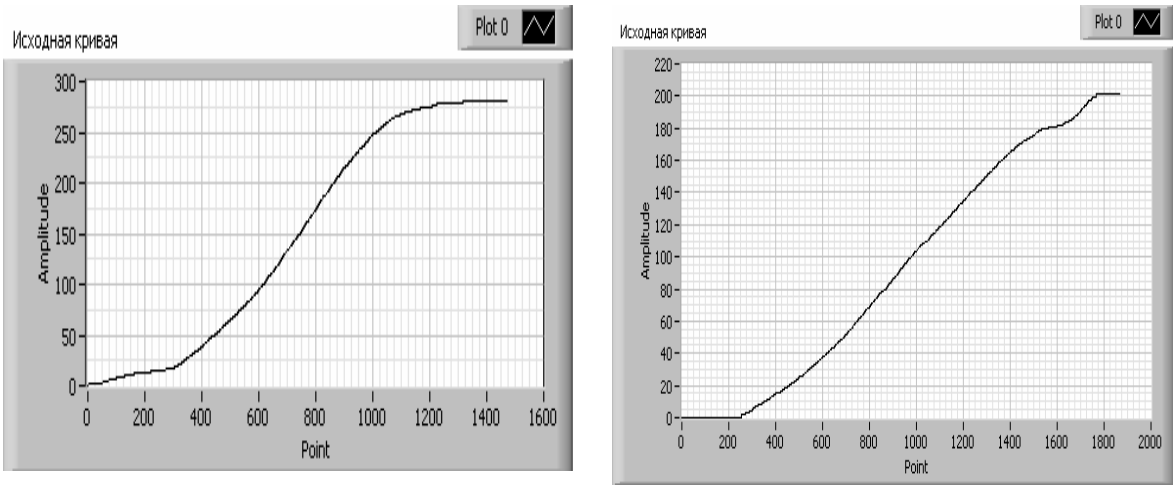


Рисунок 2 – Графики изменения объема выделенной мочи, полученные путем прямой регистрации на аппарате «Поток-К»

Следует отметить, что графики, показанные на рис. 1 и 2, получены в ходе одних и тех же исследований. Рис. 1а представляет собой график нормального типа кривой, отражающий зависимость объемной скорости (мл/с) от времени, рис. 2а – результаты того же исследования, для которого построена зависимость накапливаемого объема (мл) от времени. На рис. 1б и 2б показаны аналогичные кривые для обструктивного типа кривой, которая соответствует определенной патологии. Простое визуальное сравнение показывает, что графики рис. 1 информативнее и в лучшей степени демонстрируют локальные особенности кривых.

Поэтому при программной обработке результатов урофлоуметрии, когда в качестве исходных данных выступают оцифрованные точки кумулятивной кривой (рис. 2), ставится задача получить более информативное представление о сигнале, понятное медику и пригодное для программного выделения характерных признаков.

Отметим, что исходная кривая может быть классифицирована как нестационарный сигнал, имеющий высокочастотные составляющие, и последние не должны быть потеряны в ходе преобразований, а наоборот выделены и усилены, поскольку служат источником диагностики определенных патологических состояний.

Результаты работы. Для решения поставленной задачи воспользуемся средствами цифровой фильтрации сигналов среды графического программирования LabView [3, 4]. Далее совершим переход из области медицины в область цифровой обработки данных и рас-

 ISSN 1562-9945

смотрим классический пример фильтрации сигнала «синусоида с шумом».

На рис. 3 показаны 4 группы графиков, каждая из которых содержит:

1) график исходного сигнала (синусоида с шумом);

2) исходный сигнал после обработки фильтром нижних частот;

3) разницу между исходным и отфильтрованным сигналами.

Анализ графиков показывает, что фильтры Баттерворта и Чебышева 1-го рода обеспечивают примерно одинаковое качество фильтрации: на графике разницы исходного сигнала и сигнала после фильтра нижних частот наблюдается только высокочастотный шум с математическим ожиданием, равным нулю.

На графиках обработки сигнала эллиптическим фильтром (фильтром Кауэра) и инверсным фильтром Чебышева кроме шума присутствует еще некоторая регулярная составляющая. Необходимо отметить, что с задачей освобождения периодического синусоидального сигнала от высокочастотных составляющих инверсный фильтр Чебышева справился лучше всего.

Рассмотрим основные характеристики фильтров Чебышева и эллиптического [5]. Функция передачи фильтра Чебышева 1-го рода не имеет нулей, полюсы расположены в левой половине эллипса на s-плоскости. АЧХ фильтра описывается таким выражением:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}},$$

где ω_0 – частота среза, $T_n(x)$ – полином Чебышева n-го порядка, n – порядок фильтра, ε – параметр, который определяет величину пульсаций АЧХ в полосе пропускания.

АЧХ в полосе пропускания колеблется между значениями $1/\sqrt{1+\varepsilon^2}$ и 1, за пределами полосы пропускания монотонно затухает до нуля.

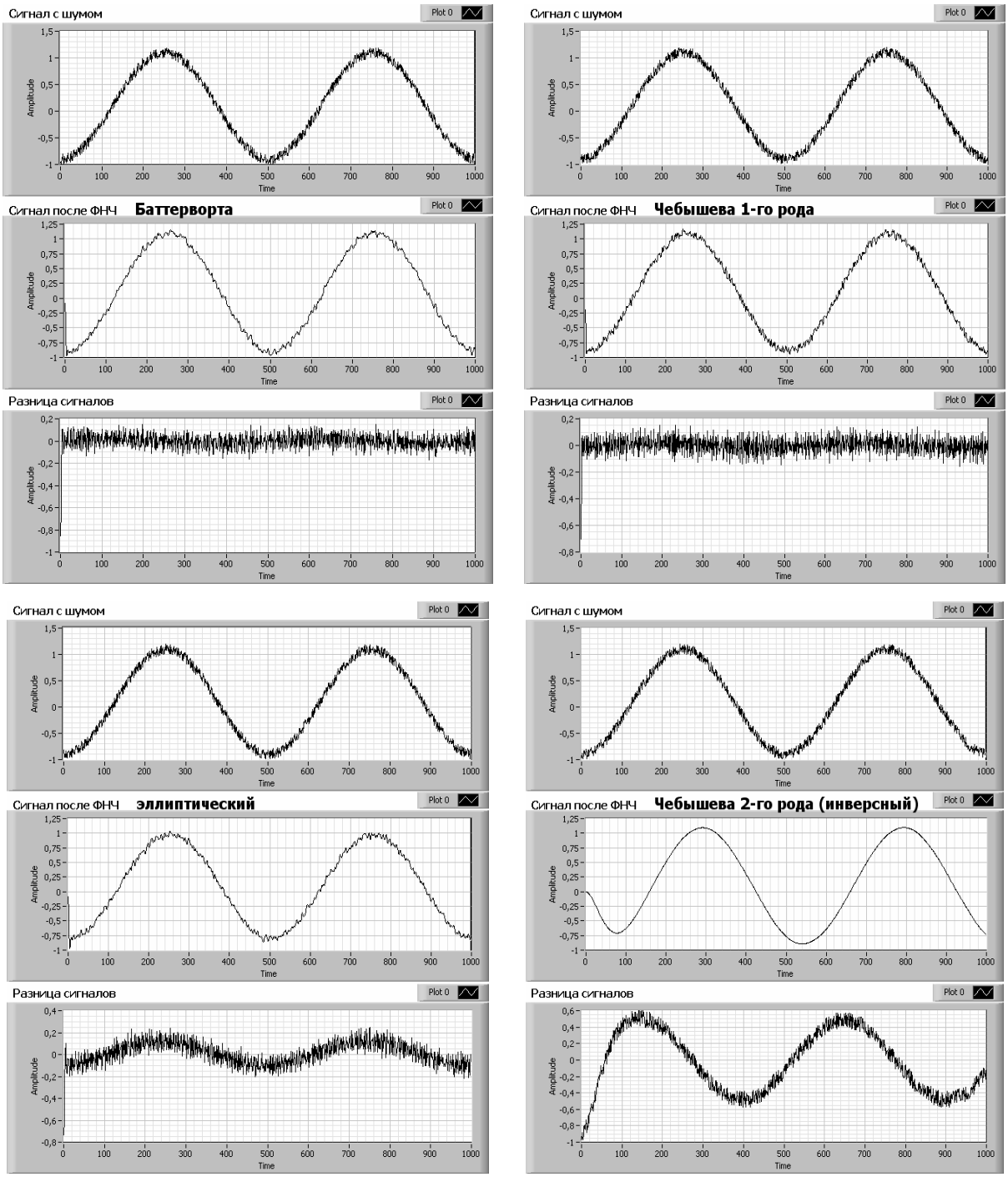


Рисунок 3 – Результаты применения фильтров нижних частот

Фильтр Чебышева 2-го рода (инверсный) имеет для функции передачи и нули, и полюсы. Его функция передачи связана с функцией передачи фильтра Чебышева 1-го рода следующей зависимостью:

$$H_2(s) = 1 - H_1\left(\frac{1}{s}\right),$$

где $H_1(s)$ и $H_2(s)$ – соответственно функции передачи для фильтров Чебышева 1- и 2-го рода. Инверсным данный тип фильтра называется

 ISSN 1562-9945

потому, что полюсы его функции передачи связаны с полюсами фильтра Чебышева 1-го рода таким соотношением:

$$p_{2i} = \frac{1}{p_{1i}},$$

где p_{1i} и p_{2i} – соответственно полюсы функции передачи фильтров Чебышева 1-го и 2-го рода.

АЧХ инверсного фильтра описывается выражением:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon^2}{T_n^2(\frac{\omega}{\omega_0})}}}.$$

Особенностью инверсного фильтра является то, что АЧХ в полосе пропускания монотонно затухает, а в полосе задерживания колеблется между нулем и значением $1/\sqrt{1+\varepsilon^2}$. При $\omega=0$ АЧХ инверсного фильтра является максимально плоской.

Эллиптический фильтр определенным образом объединяет свойства фильтров Чебышева. Для АЧХ эллиптического фильтра характерны пульсации и в полосе пропускания, и в полосе задерживания. Благодаря этому обеспечивается максимально возможная крутизна ската АЧХ. Функция передачи имеет и полюсы, и нули. АЧХ эллиптического фильтра описывается выражением:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 R_n^2(\frac{\omega}{\omega_0}, L)}},$$

где $R_n(\ldots)$ – рациональная функция Чебышева n-го порядка, ε и L – параметры, определяющие величину пульсаций в полосах пропускания и задерживания.

Рассмотрим причины появления регулярной составляющей на графиках разности сигналов в последних двух случаях. Из теории проектирования фильтров известно, что для эллиптического и инверсного фильтров характерно запаздывание. То есть, при изменении входного сигнала фильтра происходит более медленное изменение выходного сигнала по сравнению с фильтрами других типов. Когда же по точкам вычисляется разница между исходным и отфильтрованным сигналами, то появление регулярной составляющей обуславливается именно запаздыванием.

Прежде, чем вернуться к обработке данных урофлоуметрии, сделаем следующие выводы:

1. Инверсный фильтр Чебышева обеспечивает наилучшую фильтрацию (в данном случае – сглаживание) исходного сигнала по сравнению с другими рассмотренными видами фильтров. В результате, при вычитании из исходного сигнала сглаженной кривой происходит минимальная потеря и искажение высокочастотных составляющих.

2. Инверсный фильтр Чебышева также характеризуется максимальным временем запаздывания выходного сигнала по отношению к входному. Причем, чем выше скорость изменения входного сигнала, тем в большей мере проявляется запаздывание.

Применим такую же схему обработки сигнала для кумулятивных кривых рис. 2. Файл с оцифрованными данными изменения объема (мл) используем в качестве исходных данных. На лицевую панель (интерфейс пользователя) выведен график исходной кривой; сигнал после фильтра нижних частот (инверсный Чебышева 2-го порядка) и график, на котором показаны результаты вычитания по точкам сглаженной кривой из исходной. Результаты применения данного алгоритма для клинических случаев, показанных на рис. 1 и 2, представлены на рис. 4.

Полученные таким образом зависимости служат в качестве исходных данных для проведения автоматизированной компьютерной диагностики нарушений уродинамики нижних мочевых путей. Для полученной разницы сигналов строится спектр мощности, вычисляется сумма коэффициентов разложения в спектр мощности.

Как показывают исследования, последний параметр является информативным признаком для разделения урофлоуграмм на характерные типы.

На первом этапе «грубой диагностики» разработанное программное обеспечение выполняет нечеткое (*fuzzy*) разделение урофлоуграмм на три типа: «норма», «патология», «отклонения от нормы». Последний случай требует проведения дальнейших исследований (либо повторение урофлоуметрии, либо проведение других исследований).

Анализ двух нижних кривых рис. 4 показывает, что они по форме соответствуют графикам изменения объемной скорости от времени, показанных на рис. 1. Кроме качественного воспроизведения формы сигнала, в них выделены характерные высокочастотные со-

 ISSN 1562-9945

ставляющие. Следует отметить, что применение других типов фильтров приводит к получению преимущественно высокочастотных составляющих (высокочастотный шум с математическим ожиданием, равным нулю). При этом полностью утрачивается информация о форме кривой.

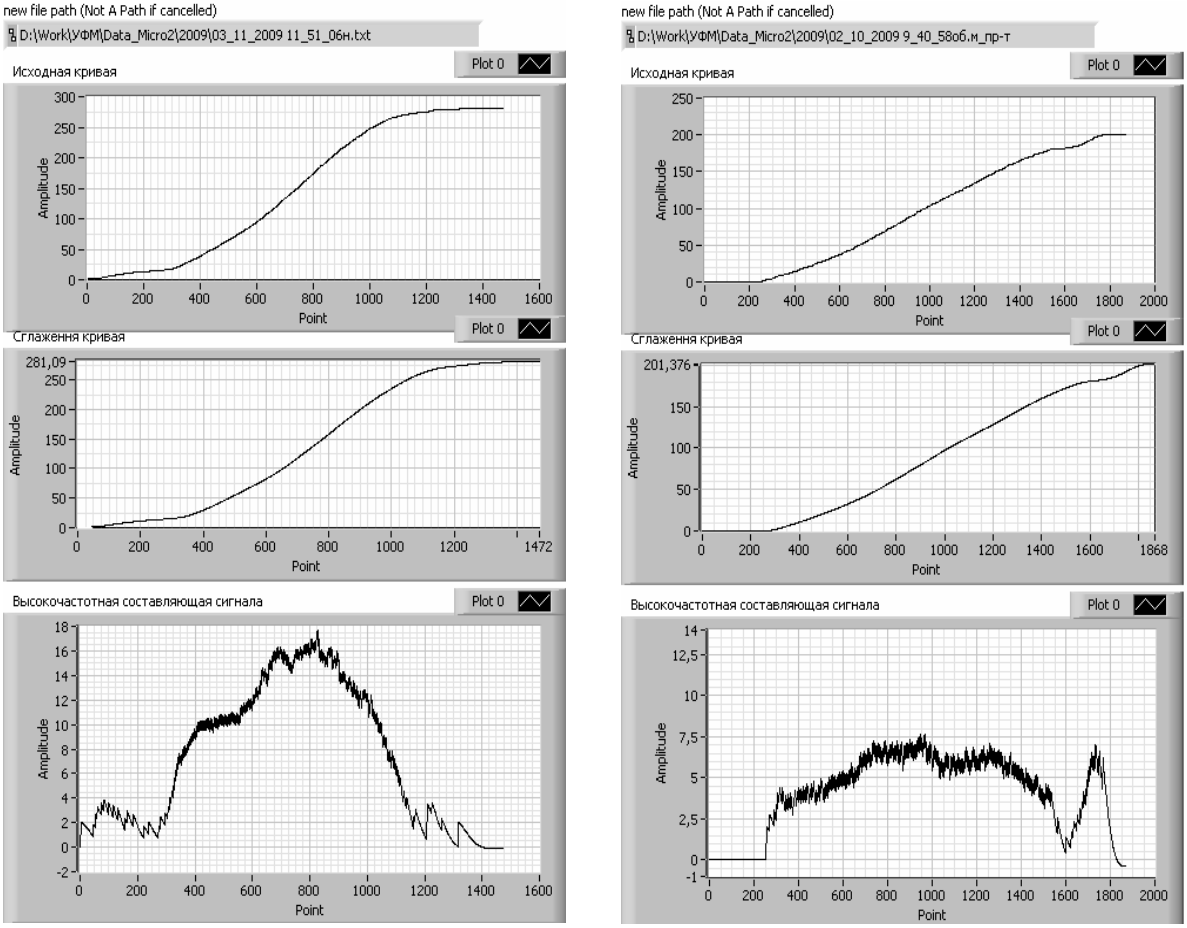


Рисунок 4 – Результаты обработки данных урофлоуметрии с использованием инверсного фильтра Чебышева

В случае использования фильтра Чебышева 2-го рода происходит запаздывание выходного сигнала фильтра по отношению к входному. Причем, как было отмечено выше, чем быстрее изменяется сигнал на входе фильтра, тем в большей мере проявляется запаздывание. В результате, путем регистрации в разнице сигналов величины запаздывания, происходит переход от наблюдения объема (мл) к косвенному измерению объемной скорости (мл/с).

На втором этапе выполняется классификация урофлоуграмм на шесть типов кривых, соответствующих определенным патологическим состояниям. На этом этапе кроме интегральных показателей используется анализ локальных особенностей, присущих шести типам

кривых. Учитываются такие характерные признаки кривых как максимальная амплитуда, координата достижения максимального значения и др. Блок-диаграмма прикладной программы показана на рис. 5.

Эффективность разработанного метода программной классификации уро-флоуграмм доказана экспериментально на выборке данных, накопленной в ходе клинических исследований. Результаты показателей достоверности сведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели достоверности программной классификации по типам кривых

Общее количество анализируемых кривых	84	100%
Правильная классификация	63	75%
Ошибочная классификация	6	7%
Необходимость повторных исследований	15	18%

 ISSN 1562-9945

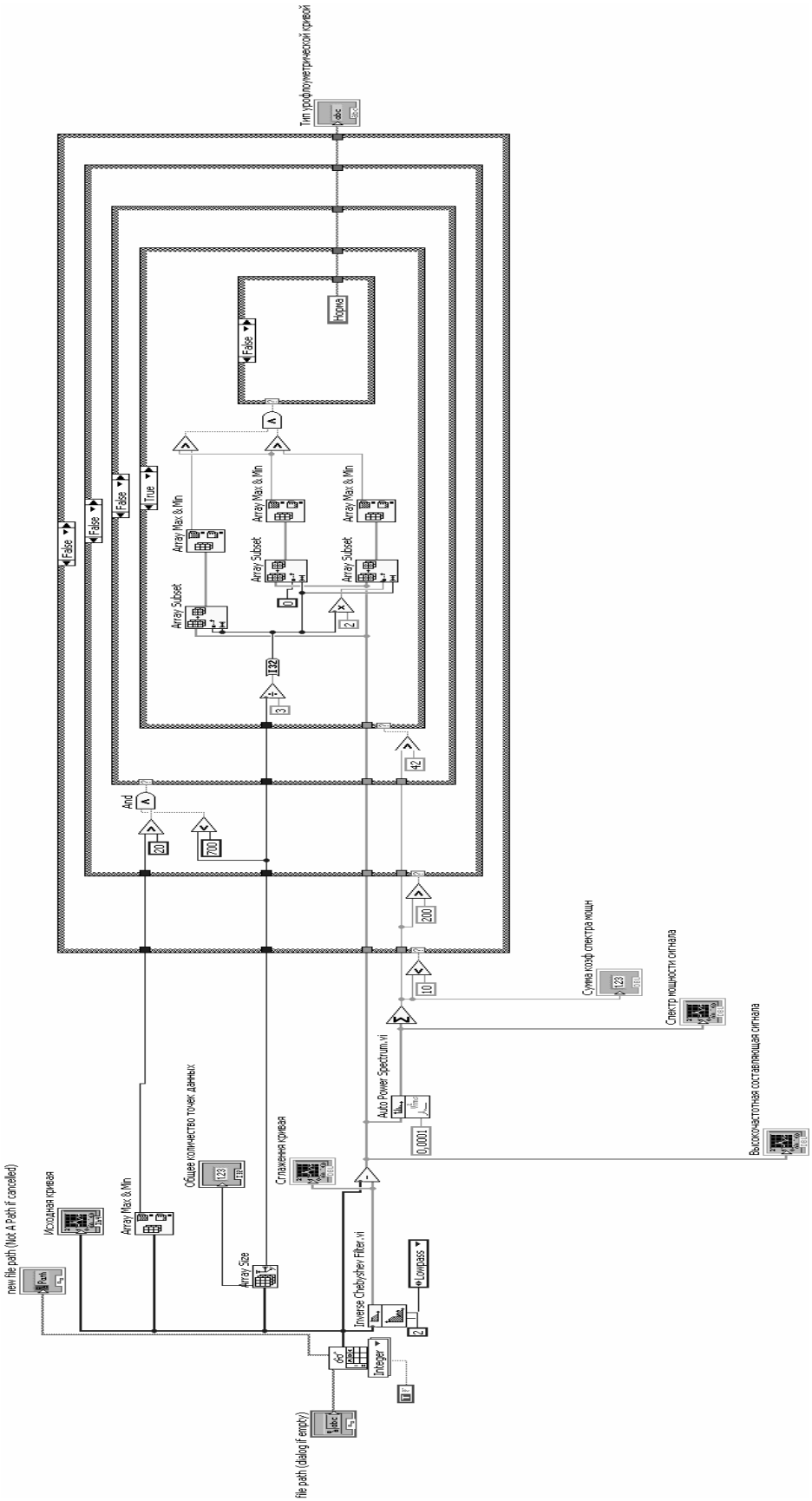


Рисунок 5 - Блок-диаграмма прикладной программы для классификации урофлоуграмм по шести типам кривых

Выводы. Применение цифровой фильтрации на основе использования фильтра Чебышева 2-го рода позволяет выполнять восстановление формы и выделение локальных особенностей урофлоуметрических кривых. Благодаря этому достигается высокий уровень показателей достоверности программной классификации по типам кривых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урофлоуметрия [Текст] / Е.Л. Вишневский, Д.Ю. Пушкарь, О.Б. Лоран и др. – М.: Печатный Город, 2004. –220 с.
2. Квятковский, А.Е. Первый опыт использования отечественного урофлоуметра для определения нарушений уродинамики нижних мочевых путей [Текст] / А.Е. Квятковский, Е.А. Квятковский, Т.А. Квятковская// Здоровье мужчины. – 2009. – № 3. – С. 157-158.
3. Кехтарнаваз, Н. Цифровая обработка сигналов на системном уровне с использованием LabView [Текст] / Н. Кехтарнаваз, Н. Ким / Пер. с англ. – М.: Изд. Дом «Додэка-XXI», 2007. – 304 с.
4. Глухова, Н.В. Моделювання та експериментальне дослідження характеристик вимірювальних каналів з використанням віртуальних стендів [Текст] / Н.В. Глухова, І.В. Коваленко, М.А. Дороніна // Системи обробки інформації. – 2011. – №6(96). – С. 84-87.
5. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б.Сергиенко. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.

 ISSN 1562-9945

УДК 622.648.6+532.51.012

А.В. Жевжик, В.Н. Горячкин, И.Ю. Потапчук

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ АЭРОСМЕСИ В УЛИТКЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ ГОРЕЛКИ

Аннотация. На основе составленной математической модели определены траектории движения частиц угля в улитке М-5452, используемой для подачи и предварительной закрутки пылеугольного топлива в горелке на котлах ТПП-110. В результате проведенных расчетов с использованием распределения частиц по размерам определена доля частиц сепарирующихся на стенку улитки, а также зона, в которой сепарация происходит наиболее интенсивно. Для повышения эффективности сжигания угольной пыли рекомендовано производить отбор частиц из пристеночной зоны с последующей их подачей в центральную часть горелки.

Введение

Одной из актуальных проблем топливно-энергетического комплекса Украины является вынужденное использование в котлах ТЭС низкореакционных углей, что обуславливает необходимость использования подсветочного топлива (газа или мазута). Альтернативой этому для стабилизации горелки является использование плазменного реактора термохимической подготовки топлива, который обеспечивает предварительный нагрев части пылеугольного топлива для интенсификации выделения летучих с последующим нагревом всей аэросмеси, подаваемой через горелку, до температуры необходимой для устойчивого горения топлива в котельном агрегате. Объемная концентрация частиц в аэросмеси мала, они незначительно влияют на движение газа и могут рассматриваться как одиночные [1].

Для эффективной работы горелки с плазменным розжигом целесообразно подавать в центральную часть горелки более мелкие фракции. Они быстрее прогреваются высокотемпературным потоком газа, выходящим из плазмотрона в центральной части горелки, и воспламеняются, способствуя дальнейшему розжигу топлива. Избирательная подача мелких фракций в центральную часть горелки воз-

© Жевжик А.В., Горячкин В.Н., Потапчук И.Ю., 2011

можна путём их отбора в соответствующих точках улитки, предназначенной для закручивания аэросмеси на входе в горелку.

Постановка задачи

Теоретическому исследованию движения твёрдых частиц в газовом потоке посвящено значительное число работ [1-4]. Однако, в известных исследованиях движение частиц рассматривается без учёта составляющей скорости вдоль оси улитки.

Целью данной работы является определение траекторий частиц пылеугольного топлива в улитке, изучение влияния параметров закрученного потока на их движение, определение зон, в которых сепарация частиц происходит наиболее интенсивно, а также разработка рекомендаций по усовершенствованию подачи пылеугольного топлива в горелку с целью повышения эффективности его сжигания.

Устройство подачи аэросмеси в горелку

В настоящее время на котлах ТПП-110 на Приднепровской ТЭС для подачи и предварительной закрутки в горелке используется улитка М-5452. Схема улитки показана на рис. 1.

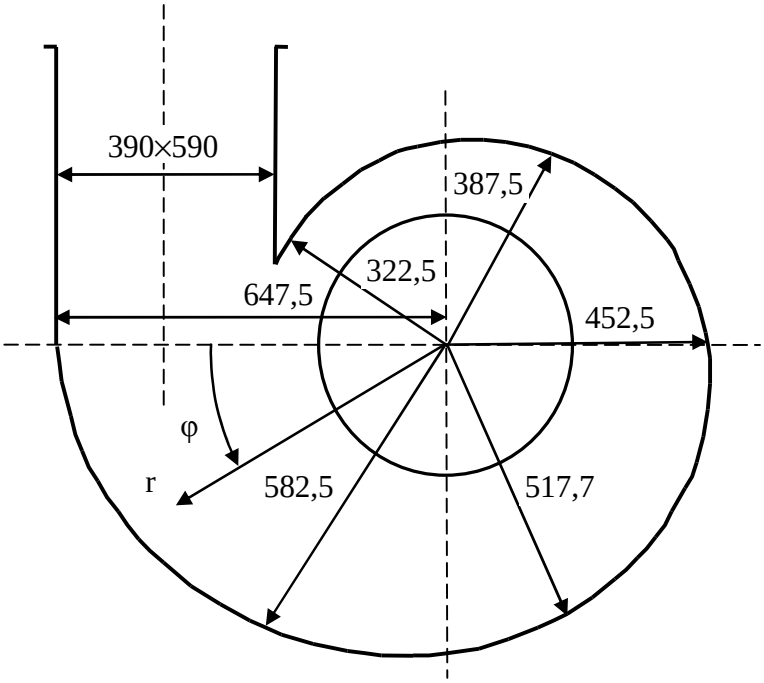


Рисунок 1 - Схема улитки М-5452

В улитке имеется подводящий канал прямоугольной формы сечением 390×590 мм. Основная часть улитки имеет форму, близкую к цилиндрической, с длиной образующей 590 мм вдоль оси горелки. Боковая поверхность имеет переменный радиус кривизны, меняющийся ступенчато 647,5; 582,5; 517,7; 452,5; 387,5; 322,5 мм.

 ISSN 1562-9945

Воздух, подаваемый тангенциально через входной канал, приобретает вращательное движение. Радиальную и вращательную скорости потока принимаем согласно [5]:

$$V = -\left|V_к\right|\frac{R_к}{r}, \quad W = W_к\left(\frac{r}{R_к}\right)^{1-k}, \tag{1}$$

где $R_к$ – радиус начальной закрутки потока, $V_к$, $W_к$ – радиальная и вращательная скорости потока на $R_к$.

Осевая скорость потока

$$U = \frac{Q}{\varepsilon F},$$

где Q – объемный расход воздуха, F – площадь поперечного сечения улитки, ε – степень заполнения сечения улитки.

Уравнения движения частицы угля

К основным силам, воздействующим на частицу, в первую очередь относятся сила тяжести $m\vec{g}$, где $m = \frac{1}{6}\pi d^3\rho$ – масса частицы, ρ – плотность частицы, g – ускорение свободного падения, и аэродинамическая сила

$$\vec{F}_a = \frac{1}{2}Cs\rho_в\left|\vec{\theta} - \vec{\vartheta}\right|\left(\theta_x - \vartheta_x\right),$$

действующая на частицу со стороны потока, где $\vec{\theta}, \vec{\vartheta}, \theta_x, \vartheta_x$ – векторы скорости потока и частицы и их проекции на ось действия силы, C – коэффициент аэродинамического сопротивления, $s = \frac{\pi d^2}{4}$ – площадь миделевого сечения, d – диаметр частицы, $\rho_в$ – плотность несущего воздуха в точке, где находится частица.

В связи с тем, что частицы пылеугольного топлива получают дроблением однородного аморфного угля, в данной работе форма частиц принята сферической. Отклонение формы частиц от сферической может приводить к некоторому увеличению коэффициента аэродинамического сопротивления.

Шероховатость поверхности частиц также влияет на коэффициент аэродинамического сопротивления. По данным [6] получено уменьшение C при увеличении шероховатости. В то же время по данным [7, 8] имеется увеличение C для шероховатых поверхностей по сравнению с гладкими поверхностями. Несмотря на то, что по дан-

ным различных источников имеются противоречивые данные, влияние шероховатости на коэффициент аэродинамического сопротивления остается незначительным. В связи с этим в дальнейшем шероховатостью частиц пренебрегаем.

Коэффициент аэродинамического сопротивления частицы принимаем по формуле Л.С. Клячко

$$C = \frac{24}{\mathrm{Re}} + \frac{4}{\mathrm{Re}^{1/3}},$$

где $\mathrm{Re} = \dfrac{d\left|\vec{\theta} - \vec{\vartheta}\right|}{\nu_в}$, $\nu_в$ – кинематическая вязкость воздуха.

Столкновения частиц со стенкой или другими частицами приводит их во вращательное движение. Вращающиеся частицы, взаимодействуя с окружающей средой, увлекают во вращательное движение окружающий их воздух. В результате этого возникает сила Магнуса-Жуковского

$$\vec{F}_м = \frac{1}{3}\pi d^3 \rho \omega (\vec{\theta} - \vec{\vartheta}).$$

Угловая скорость вращения частиц при движении по стенке трубопровода может достигать 10^5 - 10^7 $с^{-1}$, но в потоке вращение частиц быстро затухает. Так, по данным [2], в низкоскоростных потоках с легкими частицами влияние эффекта Магнуса невелико. В связи с этим в дальнейшем сила Магнуса-Жуковского не учитывается.

При движении частицы в потоке газа с градиентом скорости возникает поперечная сила Сафмена [9]

$$\vec{F}_s = K_s \nu^{0,5} \rho_в d^2 \left(\vec{\theta} - \vec{\vartheta}\right)\left(\frac{d\theta}{dy}\right)^{0,5}.$$

Согласно уравнениям (1) во вращающемся потоке градиент скорости направлен вдоль радиуса, что учитывается далее при записи уравнений движения частицы.

В условиях неравномерно нагретого газового потока возникает также сила термофореза, обусловленная тем, что молекулы, сталкивающиеся с частицей со стороны нагретой и холодной областей, сообщают ей различный по величине импульс. По данным [2] влияние силы термофореза для угольных частиц размером 0,04 ÷ 0,1 мм невелико.

 ISSN 1562-9945

В турбулентном потоке газа на частицу также действует сила турбофореза, обусловленная неоднородностью поля турбулентных пульсаций, однако ее действие незначительно [10].

Таким образом, учитывая, что силами, действующими на частицу угля, будут сила тяжести, аэродинамическая сила и сила Саффмена, в соответствии со вторым законом Ньютона, уравнения движения частицы угля в проекциях на оси цилиндрических координат r, φ, z будут иметь вид

$$\frac{d\upsilon}{dt} = \frac{w^2}{r} + \frac{3}{4} C \frac{\rho_в}{\rho} \frac{\left|\vec{\theta} - \vec{\vartheta}\right|}{d} \left(V - \upsilon\right) - g \sin\phi \cos\beta;$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{\upsilon w}{r} + \left[\frac{3}{4} C \left|\vec{\theta} - \vec{\vartheta}\right| + \frac{6}{\pi} K_s \nu^{0,5} \left(\frac{dW}{dr}\right)^{0,5}\right] \frac{\rho_в}{\rho} \frac{\left(W - w\right)}{d} - g \cos\phi \sin\beta;$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{3}{4} C \frac{\rho_в}{\rho} \frac{\left|\vec{\theta} - \vec{\vartheta}\right|}{d} \left(U - u\right) - g \sin\beta;$$

$$\upsilon = \frac{dr}{dt}, \quad w = r\frac{d\phi}{dt}, \quad u = \frac{dz}{dt}; \tag{2}$$

где υ, w, u – радиальная, вращательная и осевая скорости частицы, t – время, β – угол наклона оси улитки к горизонту.

Начальными условиями для системы уравнений (2) являются координаты и скорость частицы на входе в улитку:

$r=r_0$, $\varphi=\varphi_0$, $z=z_0$, $\upsilon=\upsilon_0$, $w=w_0$, $u=u_0$.

Результаты расчета

Фракционный состав угольной пыли определяется путем рассева отобранных проб через набор сит с ячейками различного размера. По нашим данным для угля марки АШ, используемого на Приднепровской ТЭС, фракционный состав имеет вид, приведенный в табл.1.

Таблица 1

Фракционный состав угольный пыли

Размер, мкм	<40	40–50	50–63	63–71	71–100	>100
Массовая доля, %	51,6	6,3	6,1	8,8	18,2	9

Для последующих расчетов была использована полученная на основании приведенных данных интегральная характеристика распределения массы частиц по размерам [11]

$$V = \frac{2\alpha^4}{3\pi} \int_{d_{\min}}^{\infty} d^3 K_1(\alpha d) dd \qquad (3)$$

где $K_1(\alpha d)$ - функция Бесселя, а параметр $\alpha = \frac{3\pi}{4d_{32}}$, d_{32} – средний объемно-поверхностный диаметр частиц угля.

Интегральная характеристика, вычисленная с d_{32}=40 мкм и соответствующая фракционному составу угольной пыли (табл. 1), показана на рис. 2.

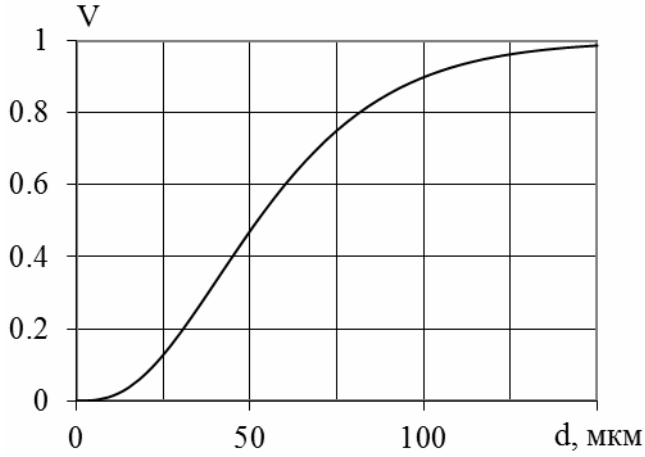


Рисунок 2 - Интегральная характеристика распределения

На рис. 3 показаны расчетные траектории частиц после перевода в декартовую систему координат при следующих исходных данных: r_0=0,4525 м, φ_0=0, z_0=0, V_0=0, W_0=16,6 м/с, U_0=0, $R_к$=0,4525 м, $V_к$=2,24 м/с, $W_к$=16,6 м/с, U=5,18 м/с, $\rho_в$=0,653 кг/м^3, ρ=1100 кг/м^3, $\nu_в$=42,75·10^{-6} м^2/с. Скорости потока воздуха принимались согласно (2). Из расчета следует, что частицы угля под действием центробежной силы и силы тяжести сепарируются на цилиндрической стенке улитки.

На рис. 4 с учетом распределения частиц по размерам согласно уравнению (3) показано распределение массы частиц угля по поверхности улитки, определяемое как отношение

$$\gamma = \frac{\sum m_s}{\sum m},$$

где $\sum m_s$, $\sum m$ – соответственно масса частиц выпавших на стенку, определяемая на основании расчета траекторий, и масса частиц поданных в улитку. Как видно из графика, более крупные частицы се-

 ISSN 1562-9945

парируются на поверхности раньше. Наиболее интенсивно сепарация частиц происходит в зоне φ=120ч170°.

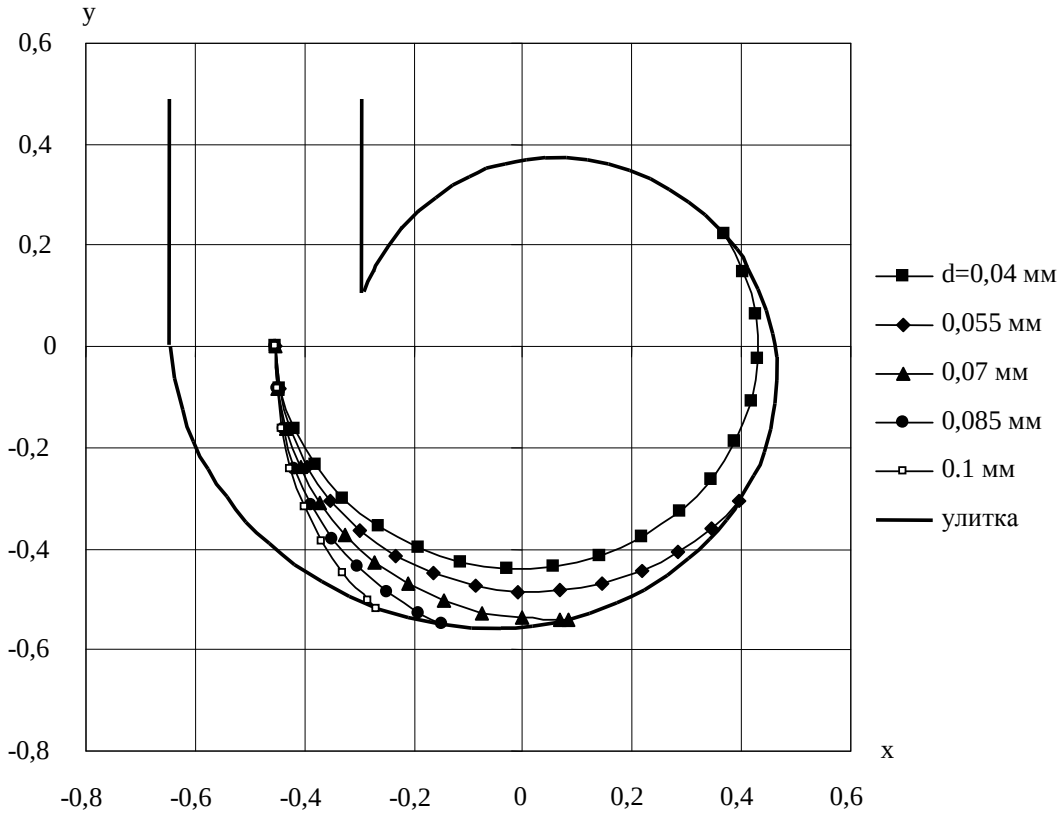


Рисунок 3 - Траектории движения частиц

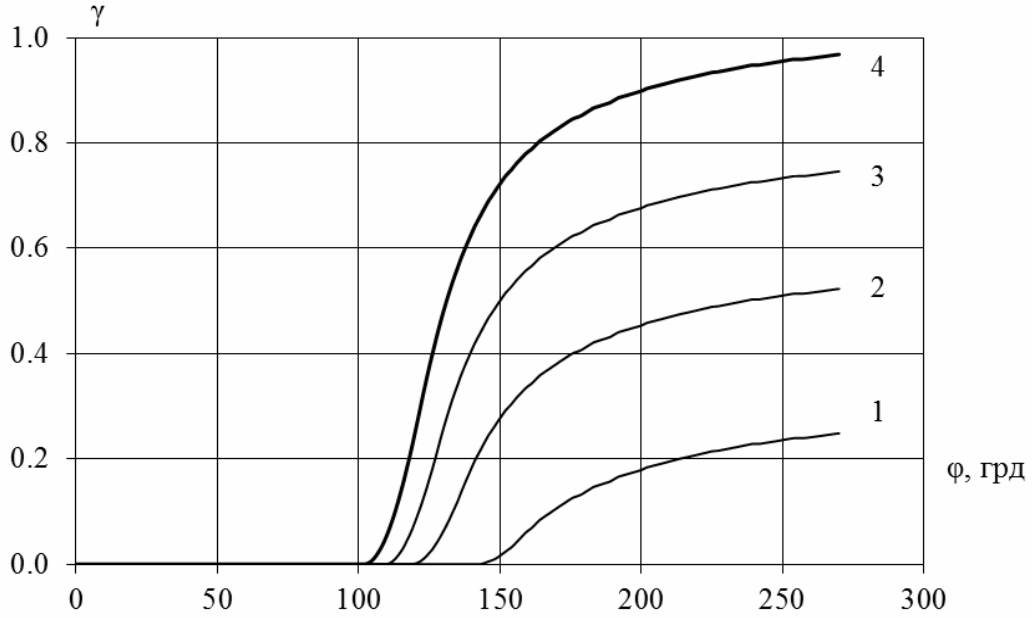


Рисунок 4 - Распределение частиц по поверхности улитки: 1 – частицы до 75 мкм, 2 – до 100 мкм, 3 – до 120 мкм, 4 – все частицы

Выводы

Построенная математическая модель позволяет определить траектории движения частиц угля в улитке пылеугольной горелки. Согласно расчётным данным около 90 % массы угольной пыли сепарируется на стенках улитки. Для повышения эффективности сжигания отбор мелкой угольной пыли (<70мкм) с последующей подачей в центральную часть горелки целесообразно производить подачу с поверхности улитки на участке $\varphi>170^{\circ}$. Отбор крупных фракций может быть осуществлен на участке $\varphi<170^{\circ}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потураев В.Н. Вибрационно- пневматическое транспорти-рование сыпучих материалов / В.Н. Потураев, А.И. Волошин, Б.В. Пономарёв - К.: Наук. Думка, 1989.-248с.
2. Турбулентные течения газовзвеси / А.А. Шрайбер, Л.Б. Гавин, В.А. Наумов, В.П. Яценко - К.: Наук. Думка, 1987.- 240с.
3. Яценко В.Е. Разработка и внедрение инерционных пылеотделителей для повышения эффективности очистки газов в чёрной металлургии: дис.канд.техн. наук. - Днепропетровск, 1990.-228с.
4. Бабий В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев - М.: Энергоатомиздат, 1986. -208с.
5. Коваль В.П. Совершенствование энергетических аппаратов с вихревой камерой: дис.докт.техн.наук. – Днепропетровск, 1990. – 440 с.
6. Neve R.S., Jaafar F.B. The effects of turbulence and surface roughness on the drag of spheres in thin jets//Aeronaut J.-1982.-83, №859-p.331-326.
7. Стернин Л.Е. Основы газодинамики двухфазных течений в соплах / Л.Е. Стернин -М.: Машиностроение, 1974.- 212с.
8. Стернин Л.Е. Двухфазные моно- и полидисперсные течения газа с частицами / Стернин Л.Е., Маслов Б.Н., Шрайбер А.А., Подвысоцкий А.М.- М.: Машиностроение, 1980.- 171с.
9. Safman P.G. The lift on a small sphere in a slow shear flow// J. Fluid Mech.- 1965.-22, №2.-p.385-400.
10. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей / Е.П. Медников - М.: Наука, 1981.- 175с.
11. Братута Э.Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях / Э.Г. Братута - Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. -144с.

 ISSN 1562-9945

УДК 06.051:06.046.2

А.О. Сулім-Тимовті, А.М. Должанський

СИСТЕМНЕ ВРАХУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРИ ПЛАНУВАННІ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

Анотація. Розроблено та використано алгоритм планування трудових та матеріальних ресурсів використання проектів для проектно-орієнтованих організацій.

Ключові слова: проект, трудові та матеріальні ресурси, команда проекту, елементи, внутрішнє середовище, проектно-орієнтована організація

Постановка проблеми і актуальність. Будь-якій діяльності з виготовлення продукції та надання послуг передує етап планування. Це передбачає, зокрема, адекватне визначення трудових і матеріальних ресурсів, які забезпечують якісне виконання проектів у встановлені терміни та із запланованими витратами.

Виконання проектів без науково обґрунтованих орієнтирів призводить до перевищення рівень яких, зазвичай, визначається на основі відомих нормативів щодо матеріальних, трудових та часових характеристик проектів та, як наслідок, до зниження їх ефективності та конкурентоспроможності. Особливо важливим це уявляється для проектно-орієнтованих організацій, де виконання проектів є основною сферою діяльності. Як свідчить сучасна практика, фактичні витрати при виконанні проектів можуть перевищувати нормативні на 15...40%, а недостатня обґрунтованість доцільного та якісного складу команди проекту в 30...40% випадків збільшує тривалість його виконання [1].

Аналіз виявив що, вказані суттєві чинники, у свою чергу, залежать від багатьох факторів, які формують рівень розвитку, тобто, якість організації. Індивідуальне урахування кожного з них робить формалізацію представлення системи громіздкою задачею, знижує достовірність та ефективність відповідних керуючих впливів.

Перспективним шляхом розв'язання вказаної ситуації може бути згортання факторів (тобто системне використання інтегральних

© Сулім-Тимовті А.О., Должанський А.М., 2011

чинників), що формують рівень розвитку внутрішнього середовища організацій, але це може підвищити ризик неповноти прогнозу.

Мета роботи. Метою дослідження стало системне врахування рівня елементів розвитку внутрішнього середовища проектно-орієнтованих організацій та можливого ризику неповноти відповідної оцінки при прогнозуванні необхідних трудових та матеріальних ресурсів.

Виклад. Для вирішення такої задачі на основі наукових досліджень [1-5] було розроблено алгоритм, який спрямований на оцінку впливу внутрішнього середовища проектно-орієнтованої організації при використанні конкретних даних щодо її наявних ресурсів (рисунок 1).

Згідно представленої схеми, на *першому етапі* має виконуватись аналіз згорток елементів - інтегральних характеристик: «Організаційна зрілість з управління проектами» x_1, «Проектний офіс» x_2 та «Команда проекту (потенціал)» x_3, які представляють головні елементи внутрішнього середовища проектно-орієнтованої організації на основі оцінки їх ознак, а також наявного потенціалу команди проекту [1, 2, 4].

Оцінку першого елементу «Організаційна зрілість з управління проектами» ($0 \le x_1 \le 1$) запропоновано здійснювати на п'яти рівнях за властивостями:

- «Загальна методологія» (що включає відповідні ознаки: «окремі практики успішних проектів»; «часткова зацікавленість управління проектами»; «розуміння керівництвом організації загальної користі від управління проектами»; «навчання окремих співробітників»; «єдина термінологія»; «загальний облік проектів»);
- «Загальні процеси» (що включає складові: «бачення особистої та загальної користі від використання управління проектами»; «підтримка загальної методології на всіх рівнях»; «наявність загальної методології управління проектами»; «наявність системи контролю проектів»; «план розвитку персоналу в галузі управління проектами»; «наявність проектного офісу»);
- «Єдина методологія» (що включає ознаки: «балансування ступеню формалізації управління проектами»; «постановка процедури накопичення кращих практик»; «шаблони проектів»; «архів»);
- «Бенчмаркінг»;

 ISSN 1562-9945

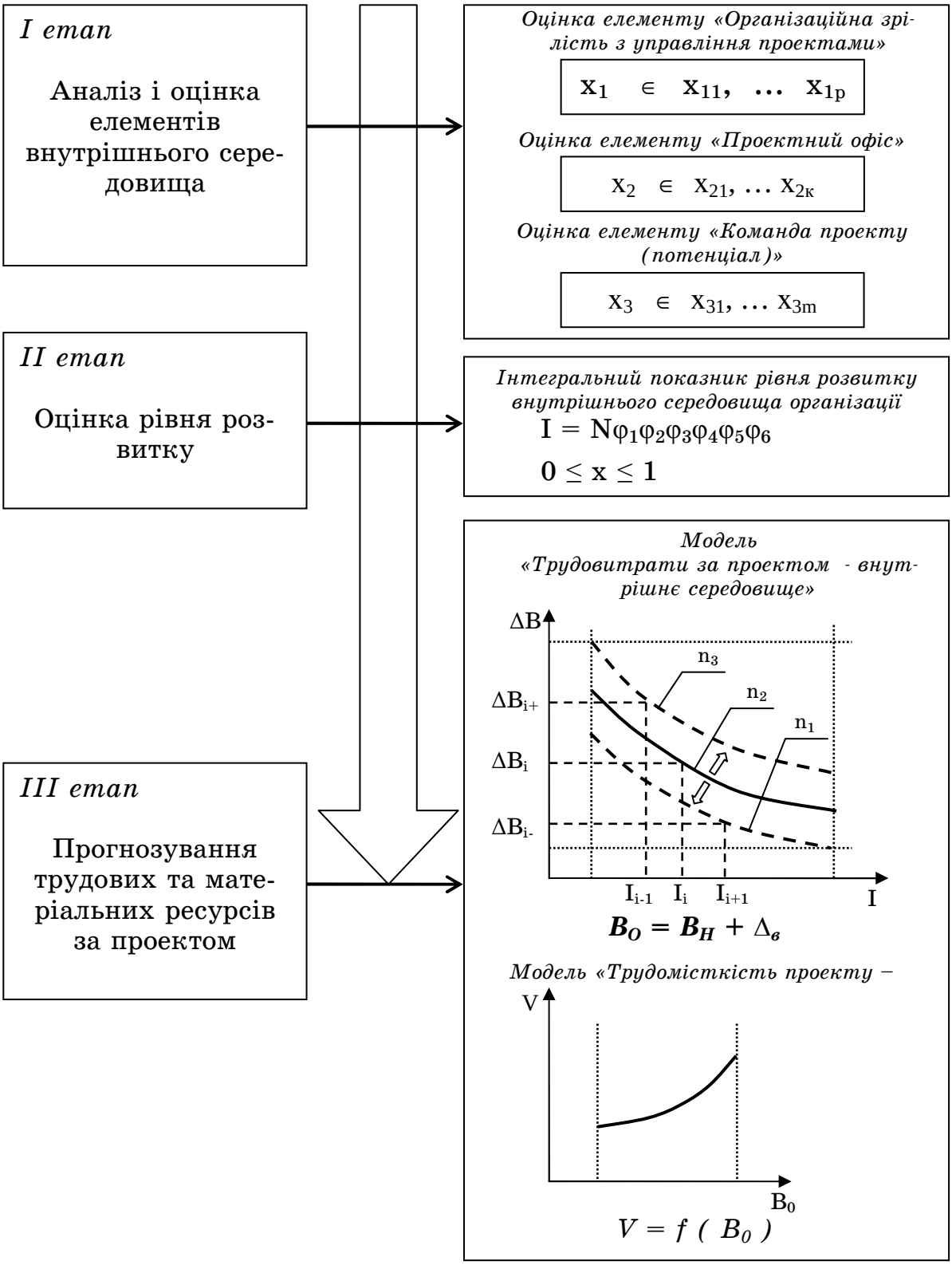


Рисунок 1 – Алгоритм планування трудових та матеріальних ресурсів виконання проектів для проектно-орієнтованих організацій

- «Постійне удосконалення».

У першому наближенні, можна вважати, що максимальна значущість кожного рівня вказаного елементу однакова та дорівнює 0,2, а кожна ознака в рамках визначеного рівня може приймати значення від 0 до 0,2/N (де N- кількість ознак у рівні). Більш ґрунтовно, значущість кожного рівня та кожної властивості в межах рівня має визначатися експертним методом.

Аналіз виявив, що розвиток основної маси вітчизняних організацій не перевищує третій вказаний рівень, що, в свою чергу, не супроводжується необхідністю деталізації двох останніх критеріїв. Результуюче значення x_1 формується як сума кількісних оцінок ознак, які залишаються для урахування.

Для оцінки другого елементу внутрішнього середовища організації «Проектний офіс» ($0 \leq x_2 \leq 1$) аналогічним чином визначається рівень зрілості за відповідними ознаками властивостей організації:

- «Загальна термінологія» (що включає ознаки: «наявність внутрішньофірмових стандартів супроводу проектів»; «наявність окремих процедур з управління проектами»; «навчання окремих співробітників»; «єдина термінологія»);

- «Загальні процеси» (що включає ознаки: «інформаційні технології управління проектами»; «наявність програмних засобів з управління проектами»; «наявність інформаційної системи з управління проектами»; «наявність серверу»);

- «Єдина методологія» (що включає ознаки: «створення баз даних тощо»; «архів»; «підвищення кваліфікації співробітників»; «система звітів в організації»);

- «Бенчмаркінг»;

- «Постійне удосконалення».

Як і у попередньому випадку, четвертий та п'ятий рівні зрілості притаманні лише незначній кількості організацій, що використовують у своїй діяльності підходи «Всеохопного управління на основі якості - TQM» [6]. Тому, здебільшого, для вітчизняних організацій вказані показники не змінять загальну оцінку.

Третім елементом внутрішнього середовища проектно-орієнтованої організації, який в найбільшій мірі залежить від людського чинника і тому містить найбільший ризик точного кількісного визначення, являється елемент «Команда проекту (потенціал)» x_3.

 ISSN 1562-9945

Для такої оцінки з використанням спеціальної комп'ютерної програми був виконаний факторний аналіз щодо різної кількості кандидатів у команду проекту з урахуванням їх базових компетенцій («Навички», «Знання», «Здібність», «Особисті якості», «Цінності та мотиви», «Тайм-менеджмент», «Інтелект» та «Творчість») та визначенням потенціалу можливих варіантів складу команди проектів згідно даних робіт [2, 3].

Результатом такої обробки стали матеріали, які також дозволяють оцінити якості кожного з кандидатів з метою його найефективнішого використання у команді проекту.

На *другому етапі* розрахунку визначали інтегральний показник *X* рівня розвитку внутрішнього середовища організації з урахуванням вищезгаданих складових x_1, x_2, x_3 та завжди наявного ризику *c* неповноти опису проекту, що планується до виконання, за формулою:

$$I = \sum_{i=1}^{3} \alpha_i x_i \qquad (1)$$

де $\alpha_1 = d_1$ – коефіцієнт вагомості при x_1;

$\alpha_2 = d_2$ - коефіцієнт вагомості при x_2;

$\alpha_3 = (1- d_1- d_2 - c)$- коефіцієнт вагомості при x_3.

Форма представлення коефіцієнту при x_3 гарантує суму всіх коефіцієнтів при змінних, яка дорівнює 1.

На наступному етапі визначаються ресурси, склад та якість команди проекту (з урахуванням всіх наявних організаційних і юридичних чинників) та відповідні прогнозовані матеріальні витрати за проектом (вартість та заробітна платня).

Одержані дані можуть бути використаними для оптимізації характеристик проекту на етапі його планування, зокрема, за критеріями, які формують внутрішнє середовище організації.

Методику, що представлена, було використано в умовах декількох проектно-орієнтованих організацій, сферою діяльності яких були інформаційні технології зі створення програмних продуктів та розробки інтернет-сайтів.

В якості вихідних даних було використано статистичні матеріали, які відображали різницю між фактичними та запланованими (очікуваними) на основі *відомих* нормативів матеріальними та трудовими ресурсами.

Визначено, що для вказаних організацій, в залежності від конкретних значень рівнів властивостей, показник ступеню розвитку «Організаційна зрілість з управління проектами» знаходився у межах $0,12 \le x_1 \le 0,68$, «Проектний офіс» - $0,06 \le x_2 \le 0,74$, а рівень розвитку «Потенціал команди проекту» - $0,33 \le x_3 \le 0,89$. Розбіг між верхньою та нижньою границями вказаних діапазонів, в яких знаходяться кількісні оцінки елементів внутрішнього середовища, свідчить про чутливість наведеної методики до особливостей внутрішнього середовища організацій, діяльність яких було проаналізовано. Відповідно, методом експертної оцінки було визначено, що $0,08 \le d_1 \le 0,32$; $0,10 \le d_2 \le 0,23$ з невизначеністю $0,05 \le c \le 0,10$ при середньому значенні ризику 0,075.

Згідно формули (1), ***I*** залежить від шести незалежних змінних, які можуть впливати на рівень цієї величини неоднозначно.

Тому виконано відповідний аналіз з використанням імітаційного моделювання за планом ортогонального латинського квадрату 7-го порядку [7, 8]. Це дозволило одержати відповідну розрахункову схему:

$$I = N\varphi 1\varphi 2\varphi 3\varphi 4\varphi 5\varphi 6, \qquad (2)$$

де $N = 40,36 \pm 5,9$;

φ_i – розраховуються за апроксимаційними формулами (3) функції відповідних незалежних змінних.

$$\left.\begin{aligned}
\varphi_1 &= 230,82d_1^4 - 165,56d_1^3 + 41,506d_1^2 - 4,4172d_1 + 0,6547;\\
\varphi_2 &= 3,696x_1^4 - 7,292x_1^3 + 5,0659x_1^2 - 1,2507x_1 + 0,5376;\\
\varphi_3 &= -4836,4d_2^4 + 3330,5d_2^3 - 837,9d_2^2 + 90,616d_2 - 3,047;\\
\varphi_4 &= 0,78x_2^3 - 1,1047x_2^2 + 0,5946x_2 + 0,3769;\\
\varphi_5 &= 452,23c_1^3 - 137,06c_1^2 + 12,94c_1 + 0,1601;\\
\varphi_6 &= -1,682x_3^3 + 2,896x_3^2 - 1,0403x3_1 + 0,4195
\end{aligned}\right\}$$

з коефіцієнтами кореляції 0,92...0,99 та коефіцієнтами детермінації 0,86...0,98.

В результаті, розрахункові значення інтегрального показника рівня розвитку внутрішнього середовища проектно-орієнтованої організації, які були піддані оцінці, знаходилися у межах $0,26 \le I \le 0,77$.

Аналіз вищевказаних статистичних матеріалів показав, що враховані проекти, які стали основою вихідних статистичних матеріалів, суттєво відрізнялися одне від одного складністю робіт, кількісним та якісним складом виконавців і, як наслідок - трудовитратами. При цьому, зі збільшенням вказаних характеристик наростала різни-

 ISSN 1562-9945

ця між запланованими та фактичними трудовими і матеріальними витратами на виконання проектів. На підставі цього, вказані проекти були розділені на типи «умовно прості» та «умовно складні». Наприклад, до першого типу належать проекти, пов'язані з підтримкою сайтів, до другого – з організацією сайтів та розробкою програмного забезпечення.

Отже, різниця $\Delta в$ між запланованими та фактичними трудовитратами для «умовно простих» проектів склала:

$$\Delta в = 27{,}1\times10^{3}\times e^{-12{,}16\times I+0{,}0204\times n}, \quad (4)$$

а для «умовно складних»:

$$\Delta в = 52{,}5\times10^{2}\times e^{-8{,}52\times I+0{,}0504\times n}, \quad (5)$$

де Δв – зміни трудовитрат за проектом внаслідок впливу внутрішнього середовища, люд.-год.;

n – кількісний склад команди проекту.

Тоді, очікувані витрати за проектами на етапі їх планування коректно мають визначатися формулою:

$$В_О = В_н + \Delta_в, \quad (6)$$

де $В_н$ – нормативні трудовитрати;

$\Delta_в$ – розраховується за виразами (4) та (5).

Використання рівняння (6) з урахуванням середнього рівня заробітної плати та її середньої долі в собівартості послуг дає можливість визначити раціональний фонд оплати праці та відповідний бюджет організації.

Така робота, що була зроблена для вказаних організацій, виявила *експоненціальне* зростання залежності витрат зі збільшенням трудомісткості проектів. Оскільки вказана тенденція більше проявляється зі зростанням кількісного складу команди проекту, то це свідчить про відповідне зниження ефективності використання коштів, що може бути поясненим відповідним збільшенням невизначеності ***c***. При цьому, слід мати на увазі, що мінімізація складу команди проекту, як правило, потребує збільшення термінів виконання запланованих робіт. Це формує задачу багатовимірної оптимізації, яка може бути вирішена за допомогою відповідного математичного апарату.

Висновок. На основі аналізу різниці між фактичними та нормативними витратами на виконання проектів проектно-орієнтованими організаціями, з урахуванням інтегрального показни-

ка рівня розвитку їх внутрішнього середовища, кількісного складу команд проекту та ризику неповноти вказаної оцінки й використанням методів факторного аналізу та проведення віртуального експерименту розроблено алгоритм планування трудових та матеріальних ресурсів виконання відповідних робіт. Це дозволило адекватно оцінювати витрати на етапі планування проектів для конкретної команди виконавців, підвищити якість діяльності, раціоналізувати використання робочого часу та одержати значний економічний ефект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трифонов И.В. Визначення очікуваних трудовитрат по проекту у проектно-орієнтованих організаціях / І.В. Тріфонов, А.О. Сулім-Тимовті, Є.О. Корнієнко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 58. - С. 174 – 180.
2. Трифонов И.В. Основные подходы к оценке и развитию базовых компетенций команды проекта / И.В. Трифонов, А.А. Сулим-Тимовти // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. – Вып.48, ч.2. - С. 174 - 179.
3. Трифонов И.В. Визначення потенціалу команди проекту при її формуванні / І.В. Тріфонов, А.О. Сулім-Тимовті // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2009. – №6-7. - С. 29 – 33.
4. Трифонов И.В. Кількісна оцінка компетенції членів команди проекту на основі методу нечітких множин / І. В. Тріфонов, В. Г. Расчубкін, А.О. Сулім-Тимовті // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2009. – №8. - С. 8 - 13.
5. Сивопляс Ю.В. Забезпечення стратегії проектно-орієнтованих організацій шляхом створення умов для реалізації внутрішніх інновацій проекту. / Ю.В. Сивопляс, А.О. Сулім-Тимовті // Вісник Хмельницького національного університету, 2010. – №3., т.2. - С. 73 - 76.
6. Должанський А.М. Менеджмент якості та системи управління якості / А.М. Должанський, Н.М. Очеретна, І.М. Ломов. – Дніпропетровськ: Вид. «Свідлер А.Л.»; 2011. – 452с.
7. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк.- М.: Мир, 1972. – 363с.
8. Сулім-Тимовті А.О. Урахування ризику неповноти опису при визначенні рівня розвитку проектно-орієнтованої організації з використанням спланованого розрахункового експерименту / А.О. Сулім-Тимовті // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2011. – Вып.58, - С. 674 - 679.

 ISSN 1562-9945

УДК 004.632:004.75

А.О. Шемет

АНАЛІЗ ПАРАЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМУ БЛОЧНОГО РЕЗЕРВНОГО КОПІЮВАННЯ

Анотація. В цій статті наведено алгоритм блочного резервного копіювання даних. Виконано декомпозицію задачі резервного копіювання з використанням паралельних систем. Проаналізовано паралельний алгоритм, наведено ярусно-паралельний та інформаційний графи Розраховано мінімальну кількість процесорів, потрібну для виконання алгоритму.

Ключові слова: паралельний алгоритм, інформаційний граф, щільність завантаження, ярусно-паралельний граф, строки виконання операторів, резервне копіювання інформації.

Вступ. Розвиток сучасних інформаційних систем безпосередньо пов'язаний з накопиченням, обробкою та передаванням даних. Важливою задачею є забезпечення збереження цих даних у незмінному стані або створенні можливості отримання даних у незмінному вигляді на момент потреби. Одним з напрямків підвищення надійності збереження даних є їх програмне резервування – створення надлишковості. Методи та алгоритми послідовного програмного резервного копіювання даних були описані в роботах [1] та [2]. В рамках вирішення задачі розпаралелення алгоритмів резервного копіювання інформації в роботах [3] та [4] було модифіковано метод інкрементального резервного копіювання, запропоновано метод блочного резервування, оптимізований до використання апарату паралельних обчислень.

Постановка задачі. В даній роботі проведемо аналіз паралельного алгоритму в рамках вирішення задач знаходження оптимального плану робіт для метода паралельного блочного резервного копіювання, знаходження мінімальної кількості процесорів (вузлів), які потрібні для проведення резервного копіювання за час, що не перевищує заданий.

Основна частина. В роботі [4] приведено алгоритм блочного резервного копіювання. Алгоритм розділено на підалгоритми: сегмен-

© Шемет А.О., 2011

тація даних, аналіз вмісту джерела інформації та відповідних резервних копій (пошук та порівняння блоку джерела з відповідним блоком резервного сховища), перенесення блоків даних до резервних копій, індексація сегментів у резервних сховищах, хешування блоків даних.

Для алгоритму блочного резервного копіювання приведемо граф алгоритму (у ярусно-паралельній формі).

$$G = (V, E) \tag{1}$$

У якості вузлів графу є операції $V = \{1, \ldots, |V|\}$, а у якості дуг E – вхідні дані, або ті що є результатом виконання операцій на попередньому ярусі [6].

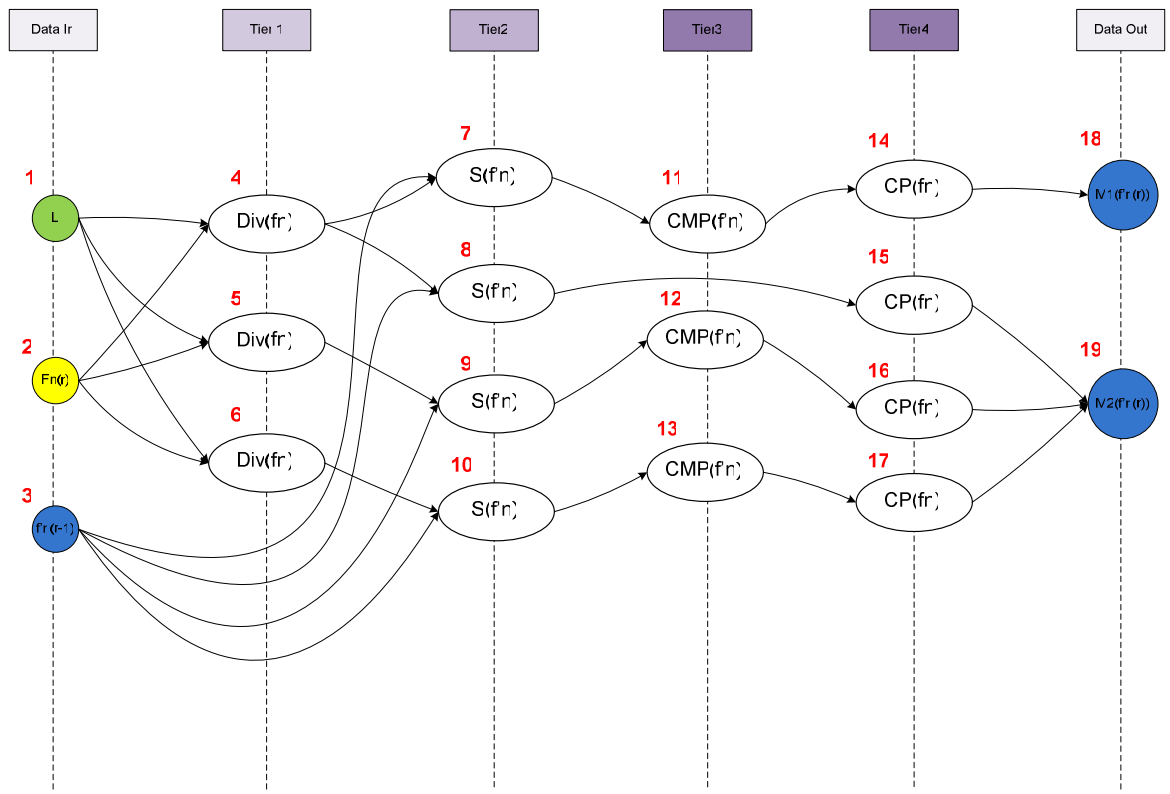


Рисунок 1 - Ярусно-паралельний граф алгоритму

Розглянемо граф алгоритму більш детально (Рис.1.). Задача резервного копіювання розділена на 4 ярусів, тобто висота ЯПФ складає 4. Ширина ЯПФ дорівнює 4. На вхід подано наступні дані: $f_n(r)$ – файл джерела інформації, де r – порядок резервного копіювання; $f_n^{'}(r-1)$ - резервна копія файлу $f_n(r-1)$; l – довжина сегменту. На першому ярусі відбувається операція паралельного розділення $f_n(r)$ на сегменти d_{kn}, при чому $l = const$ для будь-якого r. На другому

 ISSN 1562-9945

ярусі проводиться індексний пошук $d_{kn} \in f_n(r)$ та відповідного сегменту d'_{jn} у резервній копії (відбувається перебір по всіх k). На третьому ярусі відбувається по-бітне (або в залежності від реалізації, за хешем) порівняння відповідних сегментів. На четвертому ярусі, в разі, коли відповідний $d_n \in f_n(r) \cap d_n \notin f'_n(r-1)$ або $d_{kn} \neq d'_{jn}$ - відбувається процес копіювання (перенесення) сегменту даних у резервну копію та відповідна індексація. На виході маємо резервну копію $f'_n(r)$, яка складається з M розподілених блоків.

Отже для алгоритму блочного резервного копіювання поле операцій буде таким $V = \{\upsilon_{11}...\upsilon_{1n}, \upsilon_{21}...\upsilon_{2m}, \upsilon_{31}...\upsilon_{3k}, \upsilon_{41}...\upsilon_{4l}\}$, де $n, m, k, l > 1$ кількість вузлів паралельної обробки (процесорів для однорідної паралельної системи, або комп'ютерів для розподіленої системи) на кожному ярусі.

$$G_p = (\{\upsilon_{11}...\upsilon_{1n}, \upsilon_{21}...\upsilon_{2m}, \upsilon_{31}...\upsilon_{3k}, \upsilon_{41}...\upsilon_{4l}\}, E_p) \quad (2)$$

Наданий граф є укрупненим – відображає основні механізми алгоритму та не включає в себе процедуру перебудови індексів, розрахунок хеш-сум для сегментів даних.

Для подальшого аналізу представимо алгоритм блочного резервного копіювання у вигляді діаграми розкладу. За початкові дані приймемо граф алгоритму. Для цього вісь ординат розіб'ємо на відрізки кожний з яких відповідає паралельно функціонуючому вузлу чи процесору.

У кожному інтервалі розміщено операції, що закріплені за вузлом чи процесором на даний момент часу. Зв'язки між операціями розміщено зліва та справа від операцій.

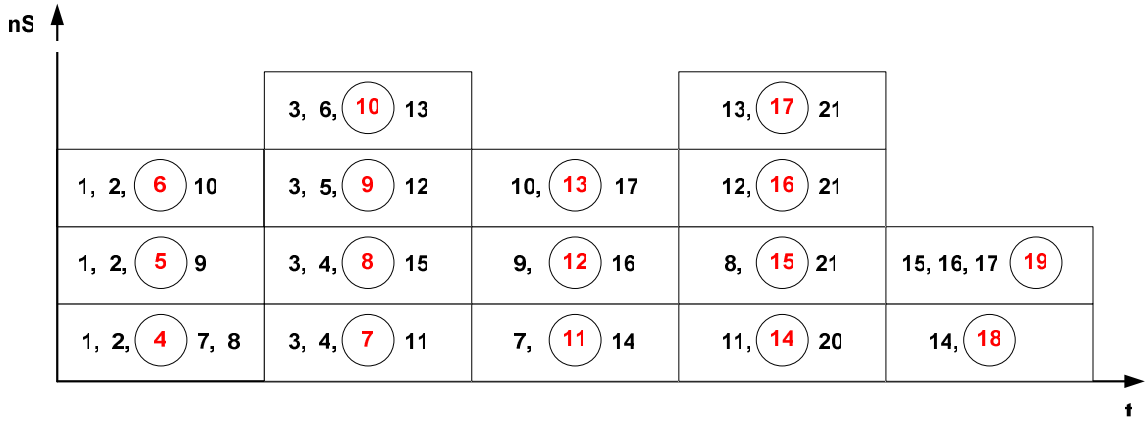


Рисунок 2 - Часова діаграма алгоритму блочного резервного копіювання

Наведений спосіб представлення є вичерпним наглядним представленням паралельного алгоритму для процедури резервного копіювання. Як видно на рис. 2. для проведення резервування використовується до 4-х процесорів/вузлів обробки.

Інформаційний граф G представимо матрицею прямування S (зведеної до нижньої трикутної форми див. рис. 3).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1																			
2																			
3																			
4	1	1																	
5	1	1																	
6	1	1																	
7			1	1															
8			1	1															
9			1		1														
10			1			1													
11							1												
12									1										
13										1									
14											1								
15								1											
16												1							
17													1						
18														1					
19															1	1	1		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1																			
2																			
3																			
4	1	1																	
5	1	1																	
6	1	1																	
7	1	1	1	1															
8	1	1	1	1															
9	1	1	1		1														
10	1	1	1			1													
11	1	1	1	1			1												
12	1	1	1		1				1										
13	1	1	1			1				1									
14	1	1	1	1			1				1								
15	1	1	1	1				1											
16	1	1	1		1				1			1							
17	1	1	1			1				1			1						
18	1	1	1	1			1				1			1					
19	1	1	1	1	1	1		1	1	1		1	1		1	1	1		

Рисунок 3 - Трикутна матриця прямування та доповнена матриця прямування з транзитивними зв'язками

Також на рис. 3. представлено матрицю прямування доповнену транзитивними зв'язками - $S^{'}$. Як видно з матриці $S^{'}$ граф не має петель.

Визначимо ранні та пізні строки виконання операторів. Для цього ярусно-паралельний граф представимо у вигляді інформаційного графа наступного вигляду:

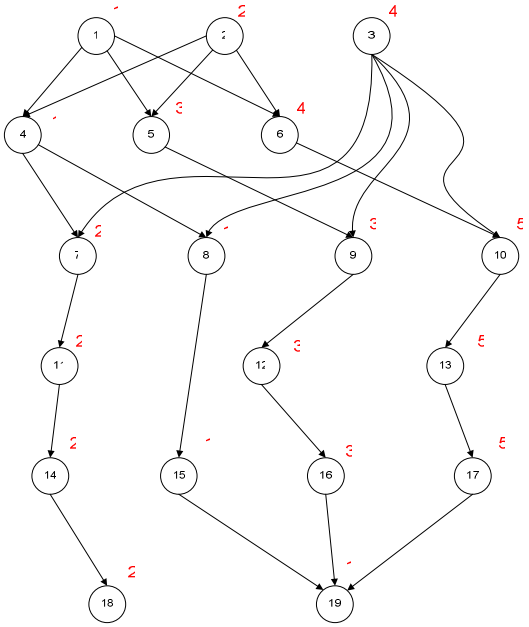


Рисунок 4 - Інформаційний граф

 ISSN 1562-9945

Кожній вершини інформаційного графа призначимо вагу. Інформаційний граф відображає порядок виконання операцій.

Знаходження ранніх строків виконання операторів T_{1i} будемо виконувати за наступним алгоритмом:

– Припускаємо, що першочергово $T_{11} = T_{12} = \ldots T_{1m} = 0$;

– Циклічно виконуємо огляд матриці S;

– Якщо строчка j не містить одиничних елементів, то $T_{1j} = t_j$;

– Якщо строчка j містить одиничні елементи, які формують множину $\{T_{1j(x)}\}, x = 1, \ldots, k_j$, то $T_{1j} = \max\{T_{1x}\} + t_j$

Критичний шлях знайдемо за наступною формулою:

$$T_{kr} = \max\{T_{11} \ldots . T_{1m}\} \quad (3)$$

Отже для нашого інформаційного графа (рис. 4) та матриці S проведемо розрахунки:

$T_{11} = t_1 = 1; T_{12} = t_2 = 2; T_{13} = t_3 = 4;$

$T_{14} = \max\{T_{11}, T_{12}\} + t_4 = 3; T_{15} = \max\{T_{11}, T_{12}\} + t_5 = 5; T_{16} = \max\{T_{11}, T_{12}\} + t_6 = 6;$

$T_{17} = \max\{T_{13}, T_{14}\} + t_7 = 6; T_{18} = \max\{T_{13}, T_{14}\} + t_8 = 5; T_{19} = \max\{T_{13}, T_{15}\} + t_9 = 8;$

$T_{1,10} = \max\{T_{13}, T_{16}\} + t_{10} = 11; T_{1,11} = T_{17} + t_{11} = 8; T_{1,12} = T_{19} + t_{12} = 11;$

$T_{1,13} = T_{1,10} + t_{13} = 16; T_{1,14} = T_{1,11} + t_{14} = 10; T_{1,15} = T_{1,8} + t_{15} = 6;$

$T_{1,16} = T_{1,12} + t_{16} = 14; T_{1,17} = T_{1,13} + t_{17} = 21; T_{1,18} = T_{1,14} + t_{18} = 12;$

$T_{1,19} = \max\{T_{1,15}, T_{1,16}, T_{1,17}\} + t_{19} = 22;$

$T_{kr} = \max\{T_{1,1}, \ldots, T_{1,19}\} = 22$

Пізні строки виконання операторів будемо шукати за таким алгоритмом:

– Припускаємо, що першочергово $\tau_{21}(T) = \tau_{22}(T) = \ldots \tau_{2m}(T) = 0$;

– Аналіз матриці виконуємо по стовпцям справа наліво. Якщо стовпець j не містить одиничних значень, то $\tau_{2j}(T) = T$;

– Якщо стовпець j містить одиничні елементи, які формують множину $\{\tau_{21}(T), \ldots, \tau_{2m}(T)\}$, та $\{\tau_{2j(x)}(T)\} \subset \{\tau_{21}(T), \ldots, \tau_{2m}(T)\}$, де $x = 1, \ldots, k_j$ то $\tau_{2j}(T) = \min\limits_{x=1,\ldots,k} \{\tau_{2j(x)}(T) - t_{j(x)}\}$

Допустимо, що $T = 23$, тоді розрахуємо $\{\tau_{21}(T), \ldots, \tau_{2m}(T)\}$:

$\tau_{2,19} = T = 23; \tau_{2,18} = T = 23; \tau_{2,17} = \tau_{2,19} - t_{19} = 22; \tau_{2,16} = \tau_{2,19} - t_{19} = 22;$

$\tau_{2,15} = \tau_{2,19} - t_{19} = 22; \tau_{2,14} = \tau_{2,18} - t_{18} = 21; \tau_{2,13} = \tau_{2,17} - t_{17} = 17;$

$\tau_{2,12} = \tau_{2,16} - t_{16} = 19; \tau_{2,11} = \tau_{2,14} - t_{14} = 19; \tau_{2,10} = \tau_{2,13} - t_{13} = 12;$

$\tau_{2,9} = \tau_{2,12} - t_{12} = 16; \tau_{2,8} = \tau_{2,15} - t_{15} = 21; \tau_{2,7} = \tau_{2,11} - t_{11} = 17;$

$\tau_{2,6} = \tau_{2,10} - t_{10} = 7; \tau_{2,5} = \tau_{2,9} - t_9 = 13; \tau_{2,4} = \min\{(\tau_{2,7} - t_7), (\tau_{2,8} - t_8)\} = \min\{15, 20\} = 15;$

$\tau_{2,3} = \min\{(\tau_{2,7} - t_7), (\tau_{2,8} - t_8), (\tau_{2,9} - t_9), (\tau_{2,10} - t_{10})\} = \min\{15, 20, 13, 7\} = 7;$

$\tau_{2,2} = \min\{(\tau_{2,4} - t_4), (\tau_{2,5} - t_5), (\tau_{2,6} - t_6)\} = \min\{14, 10, 3\} = 3;$

$\tau_{2,1} = \min\{(\tau_{2,4} - t_4), (\tau_{2,5} - t_5), (\tau_{2,6} - t_6)\} = \min\{14, 10, 3\} = 3;$

Побудуємо діаграму виконання робіт для ранніх та пізніх строків виконання операторів.

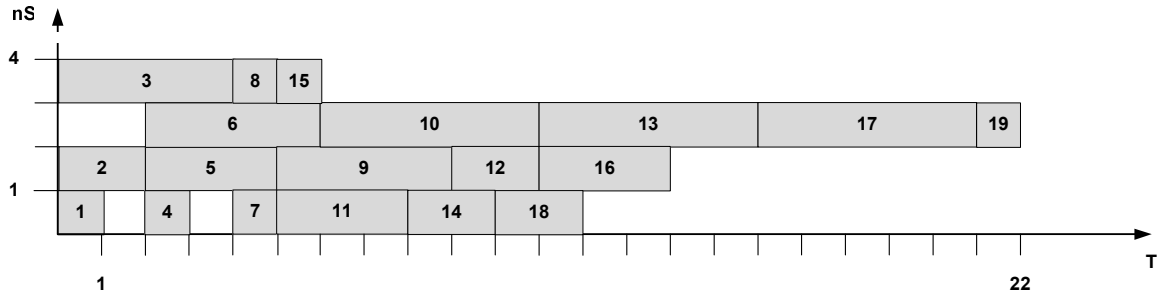


Рисунок - 5 Діаграма виконання робіт для ранніх строків виконання операторів

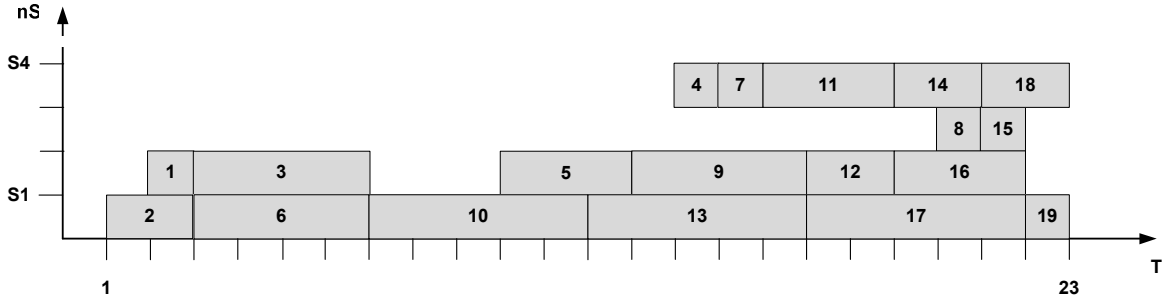


Рисунок 6 - Діаграма виконання робіт для пізніх строків виконання операторів

Означимо, що щільність завантаження при виконанні операцій буде визначатися функцією [5], [6]

$$F(\tau_1, \tau_2, \ldots \tau_m, t) = \sum_{j=1}^{m} f(\tau_j, t) \tag{4}$$

$$f(\tau_j, t) = \begin{cases} 1, t \in \lfloor \tau_j - t_j, \tau_j \rfloor \\ 0, t \notin \lfloor \tau_j - t_j, \tau_j \rfloor \end{cases} \tag{5}$$

де, τ_j – довільне значення моменту закінчення виконання j – го оператора.

 ISSN 1562-9945

Розрахуємо щільність завантаження для алгоритму паралельного блочного резервного копіювання представленого діаграмою виконання робіт для ранніх строків виконання операторів.

$F(1,2,4,1,3,4,2,1,3,5,2,3,5,2,1,3,5,2,1,t)$ при $t \in \lfloor 1,21 \rfloor$

$t=1, F=2; t=7, F=3; t=13, F=2; t=19, F=1$

$t=2, F=4; t=8, F=3; t=14, F=1; t=20, F=1$

$t=3, F=3; t=9, F=3; t=15, F=1; t=21, F=1$

$t=4, F=4; t=10, F=3; t=16, F=1$

$t=5, F=4; t=11, F=3; t=17, F=1$

$t=6, F=3; t=12, F=2; t=18, F=1$

Для алгоритму блочного резервного копіювання розрахуємо мінімальну кількість процесорів. Для цього розрахуємо максимальне значення щільності завантаження за формулами наведеними в [7], [8]

$$R = \max\{r_1, ..r_k\} \tag{6}$$

де, $r_i, i = \overline{1,k}$ – кількість робіт, що формують i – повну множину взаємно незалежних робіт, тоді

$$R = \max_{\tau_1,..\tau_m} F(\tau_1,..\tau_m, t) \tag{7}$$

мінімальне число процесорів n однакової спеціалізації і продуктивності, здатних виконати даний алгоритм за $T \geq T_{kr}$ не перевищує $R = \max\{r_1, ..r_k\}$. Отже для множини $\{4,5,6\}$ $n=4$, для множини $\{7,8,9,10\}$ $n=3$, для множини $\{14,15,16,17\}$ $n=1$.

Висновок. Отримані дані дають змогу характеризувати паралельний алгоритм за ознаками мінімальної кількості процесорів необхідних для виконання резервного копіювання, часу виконання задачі, щільності завантаженості паралельної системи, що в свою чергу дозволяє побудувати ефективну систему резервного копіювання з використанням методів паралельних та хмарних обчислень. Обчислення свідчать про те, що введення паралельних алгоритмів до систем програмного резервування інформації має сенс при виконанні декількох умов: забезпечення достатньої кількості вузлів обробки (процесорів) та порівняно великого ступеню розпаралелення алгоритму (частина паралельних обчислень до загального обсягу обчислень).

ЛІТЕРАТУРА

1. R. Kolstad. A Next Step in Backup and Restore Technology. //In USENIX Proceedings of the 5th Conference on Large Installation Systems Administration, 1991, p. 73–78.
2. E. K. Lee and C. A. Thekkath. Petal. Distributed Virtual Disks. //In Seventh International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-VII), 1996.
3. Шемет А.О. Застосування методів програмного резервування інформації: аспект резервного копіювання. Метод паралельного резервного копіювання. //Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 3.2011, - с. 221-225.
4. Шемет А.О. Паралелізм методів програмного резервування інформації. Метод паралельного блочного резервного копіювання. //Вісник академії митної служби України. Технічні науки, 1.2011, - с. 103-110.
5. J. da Silva, O. Gudmundsson, and D. Mosse. Performance of a Parallel Network Backup Manager. //In USENIX Conference Proceedings, 1992p. 17– 26.
6. Introduction to Algorithms. 2-nd edition / T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, C. Stein. – London: The MIT Press, 2001. – 1180 p.
7. Воеводин В.В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
8. Немнюгин С., Стесик О. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2002, - 400с.

 ISSN 1562-9945

УДК 621.365:621.315.61

А.Л. Демура

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ І ТЕПЛОФІЗИЧНІ ЯВИЩА ПРИ ОТВЕРДІННІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ВПЛИВОМ НАДВИСОКОЧАСТОТНИХ ПОЛІВ

Анотація. Представлені результати дослідження електромагнітних і теплофізичних явищ, що мають місце при отвердінні склопластиків під впливом електромагнітного поля надвисокої частоти.

В результаті досліджень складені дві програми для побудови графіків залежностей поглиненої нормованої потужності від товщини діелектрику і розподілу нормованої амплітуди електромагнітного поля в ньому.

Ключові слова: електромагнітне поле надвисокої частоти, процес отвердіння, електромагнітні і теплофізичні явища, полімерні композиційні матеріали.

Вступ. Для прискорення процесу полімеризації склопластиків і виробів з них автори запропонували застосовувати електромагнітне поле надвисокої частоти (ЕМП НВЧ) [1]. Першочерговою задачею при використанні НВЧ енергії є уникнення надмірного локального нагрівання.

В роботах [2, 3] сформульовано спільну задачу електродинаміки і теплопровідності, але її рішення отримано для окремих самих простих випадків. Відомі рішення теплового рівняння [4], що одержані на основі припущення однорідності розподілу теплових джерел у матеріалі при НВЧ нагріванні, але вони не відповідають дійсності.

В наукових публікаціях практично відсутні як данні з впливу електричних те теплофізичних параметрів матеріалу, так і уявлення щодо ступеню впливу зміни властивостей матеріалу на розподіл температури в процесі нагрівання. Навіть якщо рішення рівнянь, що описують, наприклад, електромагнітне поле у нагрівальній камері із зразком і буде знайдено, то воно буде відповідати тільки зразку певної форми для конкретних параметрів матеріалу та фіксованому роз-

© Демура А.Л., 2011

ташуванню зразка в камері. Таким чином, точне визначення електромагнітного поля у зразках не завжди має сенс.

Тому для відпрацювання технології отвердіння полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), до яких відносять і склопластики, під впливом НВЧ – полів є необхідність розуміння електромагнітних і теплофізичних явищ, що мають місце при нагріванні, і на основі знання цих процесів отримання адекватної математичної моделі.

Формулювання цілей статті. Основними цілями нижче приведеного дослідження є:

- вивчення розповсюдження електромагнітних хвиль в поглинаючих середовищах;
- визначення впливу електромагнітного поля при нормальному падінні плоскої хвилі на діелектричний шар.

Викладання матеріалу та результати. Дослідження електромагнітних та теплофізичних процесів в зразках у вигляді діелектричного шару проводили шляхом певної формалізації задач, тобто на основі рішення одномірного хвилевого та теплового рівнянь.

Першим кроком в дослідженні було вивчення розповсюдження електромагнітних хвиль в поглинаючих середовищах.

Вільне (існуюче без джерел) гармонійне електромагнітне поле з круговою частотою $\omega = 2\pi f$, яке змінюється у просторі тільки вздовж напрямку вісі z, вибраної декартової системи координат, повністю описується за допомогою однорідного рівняння Гельмгольца відносно комплексної амплітуди напруженості вектора електричного поля $\dot{\vec{E}}$ [5]:

$$\frac{d^2\dot{\vec{E}}}{dz^2} + k^2\dot{\vec{E}} = 0, \qquad (1)$$

де $k = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon\mu}$ – хвилеве число;

ε, μ – комплексні діелектрична та магнітна проникності.

Комплексну амплітуду вектора напруженості магнітного поля $\vec{H}$ можна знайти із другого рівняння Максвела у комплексній формі [5] як

$$\dot{\vec{H}} = -\frac{1}{j\omega\mu_0\mu} rot\dot{\vec{E}}. \qquad (2)$$

 ISSN 1562-9945

Загальне рішення рівняння (1) для плоскої електромагнітної хвилі поляризованої, наприклад, в площині $x0y$ має вигляд

$$\dot{\vec{E}} = \vec{x}_0(Ae^{-jkz} + Be^{jkz}), \tag{3}$$

де A і B – довільні комплексні константи.

Тоді вираз для комплексної амплітуди вектора напруженості магнітного поля, знайдений за допомогою (2), має наступний вигляд:

$$\dot{\vec{H}} = \vec{y}_0 \frac{1}{W}(Ae^{-jkz} - Be^{jkz}), \tag{4}$$

де $W = \sqrt{\mu_0\mu / \varepsilon_0\varepsilon} = W_0\sqrt{\mu / \varepsilon}$ – характеристичний опір середовища;

$W_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} = 120\pi$ [Ом] – характеристичний опір вакууму (ε=1, μ=1).

Для середовища з втратами хвилеве число k є величиною взагалі комплексною через комплексний характер проникностей ε і μ:

$$k = k' - jk''. \tag{5}$$

Так як досліджувані матеріалі не є магнітними, то будемо вважати, що магнітні втрати відсутні ($\mu'' = 0$), а μ'=1. Для урахування електричних втрат діелектричну проникність представляють у вигляді

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon'(1 - jtg\delta), \tag{6}$$

де $tg\delta = \varepsilon'' / \varepsilon'$ – тангенс кута електричних втрат.

Вирази для дійсної і уявної частин хвилевого числа (5) при урахуванні електричних втрат мають вигляд [5]:

$$k' = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon'\mu'}\sqrt{\frac{1}{2}(1 + \sqrt{1 + tg^2\delta})}, \; k'' = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon'\mu'}\sqrt{\frac{1}{2}(-1 + \sqrt{1 + tg^2\delta})}. \tag{7}$$

Характеристичний опір W для діелектрика дорівнює

$$W = W_0\sqrt{\frac{\mu'}{\varepsilon'(1 - jtg\delta)}} = |W|\exp(j\phi_W), \tag{8}$$

де $\phi_W = \arg(W)$ – фаза характеристичного опору.

Поклавши в (3) і (4) B=0, отримаємо часткове рішення

$$\dot{\vec{E}} = \vec{x}_0 Ae^{-jkz}, \; \dot{\vec{H}} = \vec{y}_0 \frac{A}{W}e^{-jkz}. \tag{9}$$

Перейшовши в (9) від комплексних амплітуд до векторів поля, знаходимо

$$\vec{E} = \vec{x}_0 A e^{-k''z} \cos(\omega t - k'z + \phi), \ \vec{H} = \vec{y}_0 \frac{A}{|W|} e^{-k''z} \cos(\omega t - k'z + \phi - \phi_w). \qquad (10)$$

Це затухаюча хвиля, у якій напруженості поля спадають за законом $\exp(-k''z)$, причому вектори $\vec{E}$ і $\vec{H}$ зсунуті за фазою на кут ϕ_W. Відстань, на якій амплітуда поля спадає в e раз, носить назву глибини проникності $\Delta_0 = 1 / k''$, а k'' – коефіцієнта затухання.

Середня потужність втрат в об'ємі V визначається за формулою [4]:

$$P = \frac{\omega}{2} \int_V \varepsilon_0 \varepsilon'' \dot{\vec{E}} \dot{\vec{E}}^{\times} dv. \qquad (11)$$

Якщо в деякому об'ємі V електромагнітне поле однорідне, то середня потужність внутрішніх джерел тепла в одиниці об'єму (щільність потужності) виражається як [6]

$$p = 0.5\omega\varepsilon_0\varepsilon'' \left|\dot{\vec{E}}\right|^2 = 0.5\omega\varepsilon_0\varepsilon' tg\delta \left|\dot{\vec{E}}\right|^2. \qquad (12)$$

Наступним кроком було вивчення електромагнітних процесів, які мають місце при нагріванні діелектричних матеріалів полем падаючої хвилі. В зв'язку з цим розглянули наступну формалізовану задачу.

Плоска електромагнітна хвиля нормально падає на шар діелектрика товщиною d (Рисунок). Припустимо, що падаюча хвиля поляризована в площині $x0y$. Для рішення поставленої електродинамічної задачі скористаємося «методом зшивання». Для цього розіб'ємо всю область визначення поля на часткові області 1, 2 і 3 із спільними границями. З урахуванням відбиття від границь розділу середовищ в областях 1 і 2 будуть існувати хвилі, які розповсюджуються у протилежних напрямках, а в області 3 – тільки біжуча у напрямку z хвиля. Тоді вирази для комплексних амплітуд полів в областях 1, 2 і 3 на основі (3), (4) запишемо у вигляді [7]:

$$\left.\begin{aligned} \dot{\vec{E}}_1 &= \vec{x}_0 (A e^{-jk_1(z+d/2)} + B e^{jk_1(z+d/2)}), \\ \dot{\vec{H}}_1 &= \vec{y}_0 \frac{1}{W_1} (A e^{-jk_1(z+d/2)} - B e^{jk_1(z+d/2)}), \end{aligned}\right\} \quad z \le -d/2; \qquad (13)$$

 ISSN 1562-9945

$$\left.\begin{aligned}\dot{\vec{E}}_2 &= \vec{x}_0(Ce^{-jk_2z} + De^{jk_2z}),\\ \dot{\vec{H}}_2 &= \vec{y}_0\frac{1}{W_2}(Ce^{-jk_2z} - De^{jk_2z}),\end{aligned}\right\} \quad -d/2 \le z \le d/2; \qquad (14)$$

$$\left.\begin{aligned}\dot{\vec{E}}_3 &= \vec{x}_0Fe^{-jk_1(z-d/2)},\\ \dot{\vec{H}}_3 &= \vec{y}_0\frac{1}{W_1}Fe^{-jk_1(z-d/2)},\end{aligned}\right\} \quad d/2 \le z. \qquad (15)$$

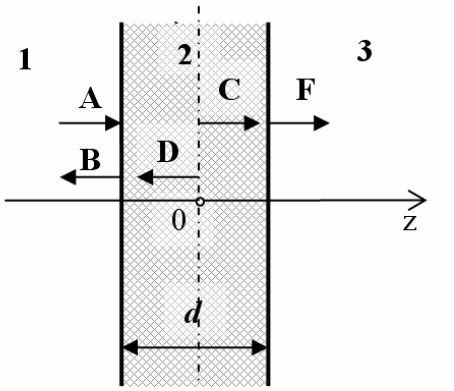


Рисунок – нормальне падіння плоскої електромагнітної хвилі на однорідний діелектричний шар

У виразах (13)-(15) A – амплітуда падаючої хвилі; B, C, D, F – комплексні амплітуди хвиль у часткових областях, які підлягають визначенню; $W_1 = W_0$ – характеристичний опір середовищ 1 і 3; $W_2 = W_0\sqrt{\dfrac{\mu'}{\varepsilon'(1 - jtg\delta)}}$ – характеристичний опір середовища 2 (діелектричний шар); $k_1 = \omega / c$ – хвилеве число для середовищ 1 і 3; k_2 – хвилеве число середовища 2, яке визначається за (5), (7).

Накладемо граничні умови, які задамо у вигляді вимог безперервності тангенціальних компонент векторів $\vec{E}$ і $\vec{H}$ на границях розділу середовищ:

$$\left.\begin{aligned}&\dot{\vec{E}}_1(z = -d/2) = \dot{\vec{E}}_2(z = -d/2);\\ &\dot{\vec{H}}_1(z = -d/2) = \dot{\vec{H}}_2(z = -d/2);\\ &\dot{\vec{E}}_2(z = d/2) = \dot{\vec{E}}_3(z = d/2);\\ &\dot{\vec{H}}_2(z = d/2) = \dot{\vec{H}}_3(z = d/2).\end{aligned}\right\}. \qquad (16)$$

Тоді з (13)-(15) за допомогою (16) для знаходження комплексних амплітуд хвиль у часткових областях B, C, D, F отримаємо наступну систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} -B + Ce^{jk_2 d/2} + De^{-jk_2 d/2} = A; \\ \dfrac{1}{W_1} B + \dfrac{1}{W_2} Ce^{jk_2 d/2} - \dfrac{1}{W_2} De^{-jk_2 d/2} = \dfrac{1}{W_1} A; \\ Ce^{-jk_2 d/2} + De^{jk_2 d/2} - F = 0; \\ \dfrac{1}{W_2} Ce^{-jk_2 d/2} - \dfrac{1}{W_2} De^{jk_2 d/2} - \dfrac{1}{W_1} F = 0. \end{cases} \tag{17}$$

Коефіцієнти відбиття ρ і проходження τ (які приведені до координати $z = -d/2$) за обчисленими значеннями комплексних амплітуд визначаються як

$$\rho(z = -d/2) = \frac{B}{A}; \quad \tau(z = -d/2) = \frac{Fe^{jk_1 d}}{A} \tag{18}$$

Нормована потужність, що поглинається у діелектричному шарі, визначається за формулою

$$P_n = 1 - |\rho|^2 - |\tau|^2. \tag{19}$$

Нормована амплітуда напруженості електричної компоненти поля на основі (13)-(15) визначається як

$$|E| = \begin{cases} \left| e^{-jk_1(z+d/2)} + (B/A)e^{jk_1(z+d/2)} \right|, & z \le -d/2; \\ \left| (C/A)e^{-jk_2 z} + (D/A)e^{jk_2 z} \right|, & |z| \le d/2; \\ \left| (F/A)e^{-jk_1(z-d/2)} \right|, & d/2 \le z. \end{cases} \tag{20}$$

Для рішення системи (17) були складені програми absorbtion.m та fild.m. Програма absorbtion.m дозволяє визначати та будувати графіки залежності нормованої потужності, що поглинається, від товщини шару. Вхідними параметрами цієї програми є дійсна частина відносної діелектричної проникності, тангенс кута втрат, граничне значення товщини діелектричного шару та частота електромагнітного поля. Програма fild.m дозволяє визначати та будувати графіки просторового розподілу нормованої амплітуди електричного поля у розглянутій структурі. Вхідними параметрами програми є дійсна частина відносної діелектричної проникності, тангенс кута втрат, товщина діелектричного шару, частота електромагнітного поля та граничне значення повздовжньої координати.

 ISSN 1562-9945

Таким чином, результати досліджень нормованого падіння електромагнітних хвиль на діелектричний шар дають уявлення щодо електромагнітних процесів, які мають місце в діелектриках при нагріванні падаючою хвилею.

Висновки. У межах даної частини роботи досліджено електромагнітні і теплофізичні явища, які мають місце в процесі отвердіння полімерних композиційних матеріалів під впливом надвисокочастотної енергії. Результати досліджень дали можливість прогнозувати процеси, які відбуваються в ПКМ при нагріванні падаючою хвилею.

В результаті досліджень визначені формули для розрахунку середньої потужності втрат в об'ємі матеріалу, нормованої потужності, нормованої амплітуди напруженості електричної компоненти поля і розроблені програми.

Отримані результати будуть використані в подальших дослідженнях з визначення зміни поглиненої нормованої потужності та положення стоячих хвиль від товщини діелектрику для різних значень діелектричних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Санін Ф.П. Обґрунтування використання електромагнітного поля надвисокої частоти для отвердіння полімерних композиційних матеріалів / Ф.П. Санін, А.Л. Демура // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Ракетно-космічна техніка. – 2003. – Вип. 7. – С. 129-133.
2. Sekkak A. 3-DFEM maqneto-themalanalysis in microwave ovens / A. Sekkak, L. Pichon, A. Razek // IEEE Transactions on Maqnetics. – 1994. – V. 30, № 9. – P. 3347-3350.
3. Комаров В.В. Исследование процессов СВЧ-нагрева диссипативных сред с учетом конвективного теплообмена: теория и эксперимент / В.В. Комаров // Прикладная физика. – 2006. - № 4. – С.34-41.
4. Пюшнер Г. Нагрев энергий сверхвысоких частот / Г. Пюршнер. – М.: Энергия, 1968. – 312с.
5. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, 1989. – 544с.
6. Глуханов Н.П. Физические основы высокочастотного нагрева / Н.П. Глуханов. Под ред А.Н.Шамова – [5-е изд.].- Л.:Машиностроение, 1989.-56с.
7. Демура А.Л. Моделювання процесу нагрівання склопластиків за допомогою НВЧ енергії / А.Л. Демура, В.Д. Рябчій // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Ракетно-космічна техніка. – 2007. – Вип. 11. Том 1. – С.22-30.

УДК 621.774.35.016.3

В.У. Григоренко, И.В. Маркевич , С.В. Пилипенко

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСЬОВИХ СИЛ ПРИ ХОЛОДНІЙ РОЛИКОВІЙ ПРОКАТЦІ

Анотація. У статті приведені результати експериментальних досліджень впливу налагодження важільної системи станів ХПТР на осьові сили, які виникають в процесі прокатки труб. Представлені пропозиції для мінімізації осьових сил, та надані необхідні їх обґрунтування.

Ключові слова: осьові, стани ХПТР, месдоза, особливотонкостінні труби.

Вступ. Стани ХПТР створені для виробництва особливотонкостінних труб [1].

Прокатка труб на станах ХПТР здійснюється устик із заготовкою. Існуюча конструкція стана не дає можливості забезпечити деформування труби при відсутніх осьових силах. Як наслідок, при прокатці особливотонкостінних труб виникає вріз торців прокатуваної труби та труби-заготовки.

Проблема. Наявність осьових сил обмежує можливості станів щодо виробництва особливотонкостінних труб. Осьові сили визначають із поздовжніх складових сил, які діють у миттєвому осередку деформації. Величина осьових сил залежить від налагодження довжин пліч куліси, де знаходяться кріплення тяг, які з'єднують, відповідно, кліть та сепаратор із кулісою.

Важливо дослідити, як зміна налагодження важільної системи впливає на осьові сили.

Аналіз досліджень. Відсутність осьових сил може бути забезпечена при значенні настроювального катаючого радіуса у кожному перерізі робочого конуса, що дорівнює природному. Це можливо за рахунок створення спеціальних механізмів, які змінюють при прокатці довжину пліч куліси по довжині робочого конуса.

Для забезпечення прокатки при відсутніх осьових силах авторами статті розроблено стан ХПТР, де регулюється довжина більшого плеча куліси під час прокатки (рис. 1). На це отримано патент

© Григоренко В.У., Маркевич И.В., Пилипенко С.В., 2011

 ISSN 1562-9945

України № 40801 від 27.04.2009 р. на «Стан холодної роликової періодичної прокатки труб» [2].

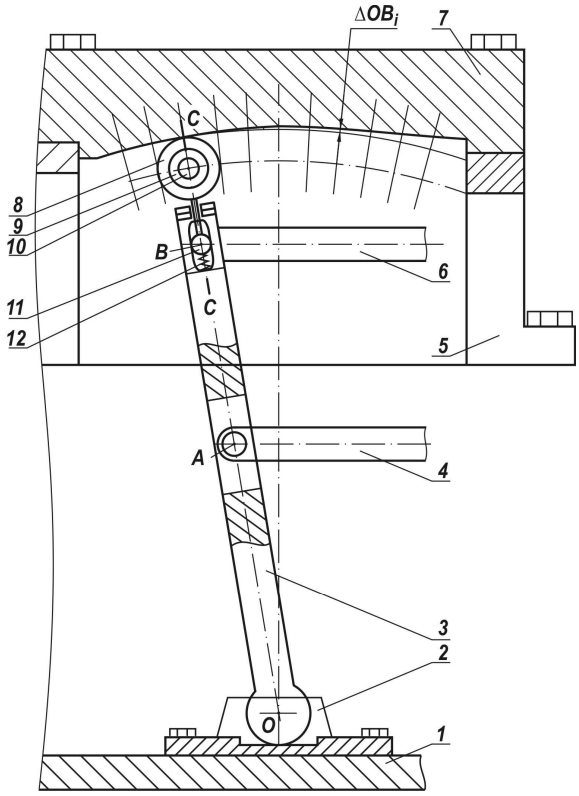


Рисунок 1 - Механізм для регулювання довжини більшого плеча куліси: 1 – станина стана; 2 – основа куліси; 3 – куліса; 4 – тяга сепаратора кліті; 5 – стійка балки; 6 – тяга каретки кліті; 7 – калібрована балка; 8 – ролик; 9 – штир; 10 – вісь штиря та ролика; 11 – вісь тяги каретки кліті; 12 – пружина

Для калібрування планки (7) розроблені комп'ютерні продукти «ХПТР - параметри» [3] та «ХПТР - осьові» [4], які дають можливість розраховувати необхідні параметри такого процесу. Для підтвердження адекватності розроблених комп'ютерних продуктів було заплановано та здійснено експеримент по дослідженню зміни осьових сил при різних відношеннях довжин пліч куліси.

Ціль розробки. Основною задачею при плануванні та постановці експерименту ставилося дослідження впливу зміни довжини більшого плеча куліси на величину осьових сил, а також перевірка відповідності та адекватності розроблених комп'ютерних продуктів «ХПТР - параметри» [3] та «ХПТР - осьові» [4].

Результати розробки. Було обрано маршрут прокатки 10,5Ч1,2→8,35Ч0,7 труб зі сталі 12Х18Н10Т. Сутність експериментального дослідження полягає у вимірюванні осьових сил при різних

значеннях відношення довжини пліч куліси. Для перевірки адекватності комп'ютерних програм «ХПТР - параметри» та «ХПТР - осьові» провели розрахунок осьових сил для відповідних експерименту значень відношень пліч куліси для маршруту прокатки 10,5Ч1,2→8,35Ч0,7 труб зі сталі 12Х18Н10Т.

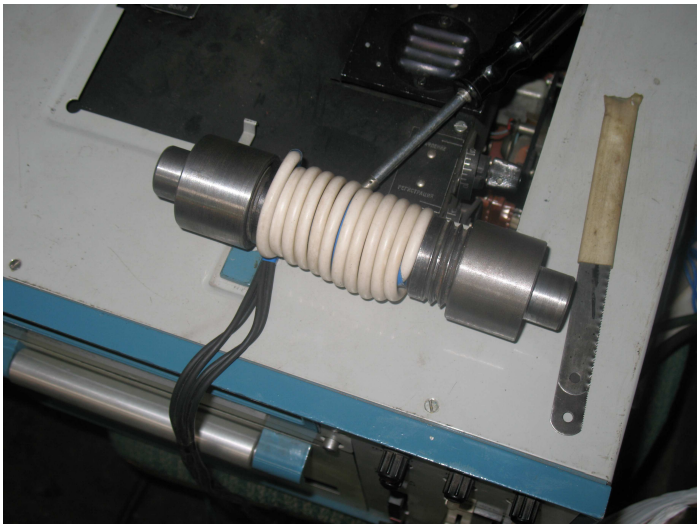


Рисунок 2 - Вимірювальна месдоза з перехідниками

Особливістю вимірювальної месдози [5] є можливість її використання для різних розмірів труб. Для цього потрібно було виготовити перехідники для встановлення месдози між прокатуваною трубою та патроном подачі–повороту або між трубою та заготовкою.

Як показують розрахунки та практика, найбільші осьові сили виникають при зворотному ході і стискають прокатувану трубу та заготовку, що призводить до зминання або врізу торців труб.

Результати досліджень одержали у вигляді осцилограм при різних співвідношеннях довжин пліч куліси. Наведені фрагменти осцилограми при усталеному процесі прокатки та відокремлено прямий і зворотний хід кліті (рис. 3 та рис.4).

 ISSN 1562-9945

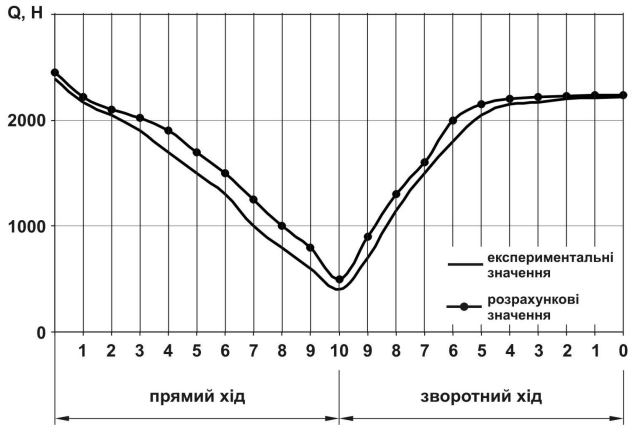


Рисунок 3 - Елемент осцилограм осьових сил при експериментальних дослідженнях та результати розрахунків для маршруту 10,5Ч1,2→8,35Ч0,7 при відношенні довжин важелів *OB*/*OA* = 670/525

Рисунок 4 - Елемент осцилограм осьових сил при експериментальних дослідженнях, та результати розрахунків для маршруту 10,5Ч1,2→8,35Ч0,7 при відношенні довжин важелів *OB*/*OA* = 670/515

Як видно з таблиці порівняння експериментальних результатів та розрахункових даних, різниця між одержаними та розрахунковими результатами становить, відповідно, 5 та 4 %, що підтверджує адекватність програми «ХПТР - осьові» та програми «ХПТР-параметри».

Таблиця 1

Порівняльні результати експериментальних та розрахункових даних

Експериментальні дані, (Н)	Розрахункові дані	Різниця між розрахунковими та експериментальними даними%
2390	2244	5
3280	3372	4

Висновки. Одержано додатково експериментальні дані про значення осьових сил у процесі ХПТР при зміні відношення довжин пліч куліси. Раніше подібні дослідження не проводилися. Це розширює уявлення про величини та характер осьових сил у процесі ХПТР та дозволяє перевірити розрахунковий математичний опис процесу.

Перспективи. Проведені дослідження дали змогу розширити уявлення про вплив осьових сил на параметри процесу ХПТР. Результати експериментальних досліджень підтвердили адекватність програм «ХПТР- параметри» та «ХПТР - осьові». Це дозволяє застосовувати ці програми при проектуванні станів ХПТР, які будуть працювати з, теоретично, відсутніми осьовими силами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вердеревский В.А. Роликовые станы холодной прокатки труб / Вердеревский В.А. – М.: Металлургия, 1992. - 240 стр.
2. Патент 40801 України. Стан холодної періодичної роликової прокатки труб Григоренко В.У., Маркевич І.В, 27.04.2009 р.
3. Григоренко В.У. Анализ деформационных и силовых параметров процесса холодной периодической роликовой прокатки на базе разработанной компьютерной реализации его математического описания / В.У. Григоренко, И.В. Маркевич // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (54). – Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 37 – 43.
4. Маркевич И.В. Анализ осевых усилий в процессе холодной прокатки труб роликами на базе разработанной компьютерной реализации их расчета / Маркевич И.В. – Краматорськ: ДДМА, 2008. - С. 116 – 119 – (Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні) (Тематичний збірник наукових праць; Т.1)
5. Чекмарев А.П. Методы исследования процессов прокатки / А.П. Чекмарев, С.А. Ольдзиевский. – М.: Металлургия, 1969. - 292 стор.

 ISSN 1562-9945

УДК 515.2

Є.А. Гавриленко

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРІВ КРИВИНИ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНОЇ КРИВОЇ

Анотація. Визначається область можливого розташування центрів кривини, які відповідають вихідним вузлам дискретно представленої кривої з монотонною зміною кривини.

Ключові слова: дискретно представлена крива (ДПК), монотонна зміна кривини, стичне коло, радіус кривини, нормаль, центр кривини.

Постановка проблеми. При формуванні обводу з монотонною зміною кривини, у точках вихідного ряду призначаються дотичні і значення кривини. Призначаючи зазначені характеристики необхідно враховувати, що вони взаємозалежні і повинні відповідати один одному.

Положення дотичних до обводу та значення радіусів кривини однозначно визначаються положенням центрів відповідних стичних кіл – центрів кривини. Таким чином проблему можливо звести до визначення області розташування центрів кривини, при яких задача формування обводу має розв'язок.

Найбільш ефективний шлях розв′язку цієї задачі, полягає у визначенні діапазонів положення центрів кривини, що враховують всю область можливого розв′язку, і вибір, усередині цих діапазонів, області оптимального розв′язку.

Аналіз останніх досліджень. Найближчими по темі роботами, де досліджувана можливість формування обводів з монотонною зміною кривини, є [1,2,3].

У роботі [1] розроблений метод формування обводів шляхом згущення вихідного точкового ряду, якій дозволяє визначити область можливого розташування точок згущення. Положення дотичних до обводу, що формується, заздалегідь не визначається та уточнюється в процесі послідовних згущень. У результаті згущень формується обвід

© Гавриленко Є.А., 2011

другого порядку гладкості, із заздалегідь призначеними значеннями кривини у вузлах.

У роботі [2] запропонований алгоритм формування обводу з монотонною зміною кривини з використанням дотичних. Точки згущення призначаються усередині базисних трикутників, утворених хордою, що з'єднує два послідовних вихідних вузли та дотичними до обводу в цих вузлах. Алгоритм згущення точкового ряду дозволяє призначати положення дотичних до обводу в точках згущення, при яких задача має розв'язок.

В роботі [3] запропоновані умови, до стичних кіл у вузлах вихідної ДПК з монотонною зміною кривини.

Умова 1. Всі вузли в яких значення радіусів кривини менше, ніж в i-му вузлі, повинні бути розташовані у середині i-го стичного кола.

Умова 2. Стичні кола меншого радіусу повинні розташуватися всередині стичного кола більшого радіусу без перетинань.

Умова 3. Стичні кола, які відповідають сусіднім вихідним вузлам, повинні бути розташовані таким чином, щоб можливо було призначити коло, дотичне до обох стичних кіл в точках, які розташовані між вказаними вузлами.

Умови, запропоновані в [3] дозволяють встановити відповідність розташування стичних кіл, призначених у вихідних вузлах, вимогам до обводу, що конструюється.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є розробка способу визначення області можливого розташування центрів кривини, які відповідають вузлам вихідної ДПК з монотонною зміною кривини.

Основна частина. Стичне коло, назначене у вузлі, повністю визначається положенням свого центра – центра кривини *(Ci)*.

Визначимо діапазон усередині якого може бути призначена точка *Ci* при формуванні обводу з монотонною зміною кривини. Для цього необхідно визначити:

- крайні положення, які може займати нормаль до обводу, що формується, призначена в i-му вузлі (n_i);

- відрізок нормалі, усередині якого може бути призначена точка *Ci*.

 ISSN 1562-9945

Розглянемо нормаль n_i призначену так, щоб вона проходила через центр кола, що обумовлено вузлами *i-1, i, i+1*.

Таке коло будемо називати прилягаючим та позначати ПК$_i$ – по номеру середньої, з визначаючих коло точок.

При зазначеному положенні нормалі єдино можливе положення точки C_i – центр ПК$_i$ ($Ц_i$).

Дійсно, якщо збільшити радіус СК$_i$ *(R_i)*, то вузол *i+1* опиниться усередині СК$_i$, а при зменшенні R_i вузол *i-1* виявляється за межами СК$_i$, тобто порушується умова 1 розташування стичного кола (далі просто *умова - 1*).

При повороті n_i навколо вузла *i* проти годинникової стрілки, щодо положення, коли n_i проходить через центр ПК$_i$, вузол *i-1* виявляється за межами СК$_i$, а вузол *i+1*– усередині СК$_i$ (див. рис. 1).

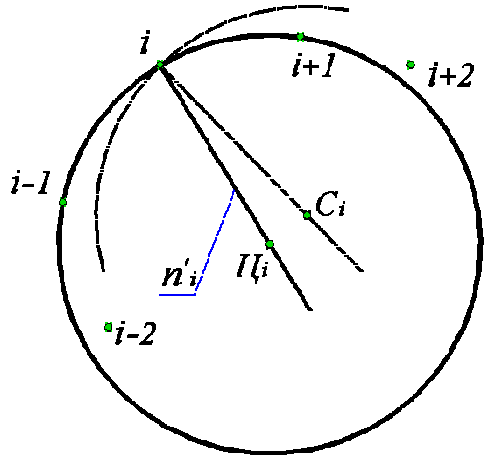


Рисунок 1

Зміною значення R_i домогтися одночасного виконання умови розташування вузла *i-1* усередині СК$_i$, а вузла *i+1* за його межами неможливо.

Отже, положення n_i , коли нормаль проходить через центр ПК$_i$, є крайнім, максимально поверненим проти годинникової стрілки положенням, при якому формування обводу з монотонною зміною кривини має розв′язок.

Позначимо таке положення нормалі n_i'.

При положенні нормалі n_i' радіус кривини R_i приймає єдино можливе значення – значення радіуса ПК$_i$, а ділянка обводу *(i-1; i+1)* повинна бути сформованою дугою цього кола.

Поворот n_i за годинниковою стрілкою, щодо положення n_i' дозволить як зменшувати, так і збільшувати значення R_i щодо радіуса ПК$_i$.

Розглянемо можливість формування обводу з монотонною зміною кривини, коли нормаль n_i проходить через центр ПК$_{i-1}$ – точку $Ц_{i-1}$

Якщо значення R_i призначити меншим чим радіус ПК$_{i-1}$, то точки *i-1* та *i-2* виявляться за межами СК$_i$ (див.рис. 2).

У цьому випадку не виконується *умова-1* і обвід з монотонною зміною кривини сформувати неможливо.

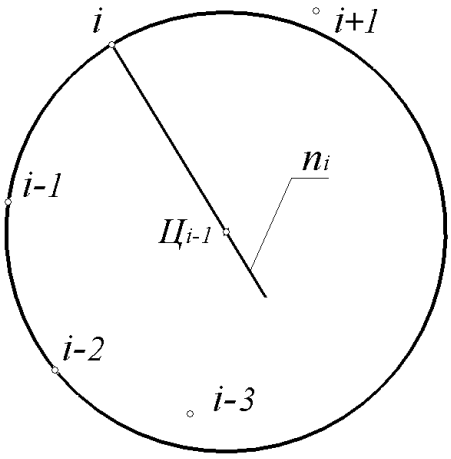


Рисунок 2

Якщо значення R_i призначити більшим радіуса ПК$_{i-1}$, то *умова-1* буде виконана. Однак, при розташуванні центра СК$_i$ на прямій n_i, яка проходить через точку $Ц_{i-1}$, виконання *умови -3* неможливо. Коло, дотичне із СК$_i$ у вузлі *i*, може мати дотик із СК$_{i-1}$ тільки в точці, розташованої за вузлом *i-1*.

При будь-якому повторі нормалі n_i за годинниковою стрілкою відносно положення, коли n_i проходить через точку $Ц_{i-1}$, *умова-3* також нездійсненна.

Отже, положення n_i, коли нормаль проходить через центр ПК$_{i-1}$ є крайнім, максимально поверненим за годинниковою стрілкою положенням, при якому задача формування обводу з монотонною зміною кривини на ділянці (*i-2;i*) має розв′язок. При такому положенні нормалі n_i радіус R_i приймає єдино можливе значення – значення радіуса ПК$_{i-1}$. Це значення є мінімальним із всіх можливих за умовою задачі значень R_i. У розглянутому випадку ділянка обводу (*i-2;i)* повинна бути сформована дугою ПК$_{i-1}$.

 ISSN 1562-9945

Поворот n_i проти годинникової стрілки та збільшення значення R_i до величини, коли вузол *i-1* виявиться усередині СК$_i$, дозволяє формувати обвід з монотонною зміною кривини на ділянці ДПК (*i-2;i*).

Здійснивши аналіз можливості формування обводу з монотонною зміною кривини, коли нормаль n_i проходить через центр ПК$_{i+1}$ (коло, що проходить через точки *i;i+1;i+2)* і міркуючи аналогічно випадку проходження n_i через центр ПК$_{i-1}$, можна зробити наступні висновки.

- Зазначене положення прямій n_i є крайнім, максимально поверненим за годинниковою стрілкою положенням нормалі, обумовленим положенням вузлів *i; i+1; i+2.*

- При зазначеному положенні нормалі n_i єдине можливе значення R_i дорівнює радіусу ПК$_{i+1}$. Це значення R_i є максимальним із всіх можливих, при яких задача має рішення.

- У випадку проходження нормалі n_i через центр ПК$_{i+1}$, ділянка обводу *(i; i+2)* повинна бути сформована дугою цього кола.

Таким чином, розташування вузлів вихідного точкового ряду визначає два крайніх, повернених за годинниковою стрілкою, положення нормалі n_i:

- положення, при якому n_i проходить через центр ПК$_{i-1}$ – визначається вузлами *i-2, i-1, i;*

- положення, при якому n_i проходить через центр ПК$_{i+1}$ – визначається вузлами, *i, i+1, i+2.*

Зрівнявши зазначені положення прямій n_i , і вибравши менш повернене за годинниковою стрілкою, ми визначаємо граничне положення нормалі при якому задача формування обводу з монотонною зміною кривини має розв′язок. Позначимо таке положення нормалі $'n_i$.

Два крайніх положення нормалі до обводу, що формується, в *i*-м вузлі: повернене за годинниковою стрілкою – $'n_i$,та повернене проти годинникової стрілки – n_i', визначають границі сектора, усередині якого може бути призначена нормаль n_i.

Отримані залежності положення нормалі та радіуса кривини, призначуваних в *i*-м вузлі, від розташування вузлів вихідної ДПК

дозволяє визначити область можливого положення центра кривини C_i (див. рис. 3).

На рисунку область можливого розташування C_i – зафарбований трикутник. Будемо називати цей трикутник – трикутник центрів кривини.

Трикутник обмежений прямими лініями:

- прямою l_1, що проходить через центр ПК$_{i-1}$ ($Ц_{i-1}$) і центр ПК$_i$ ($Ц_i$). Пряма l_1 може бути визначена як перпендикуляр до хорди [i-1; i], що проходить через її середину;

- прямою l_2, що проходить через центр ПК$_{i+1}$ ($Ц_{i+1}$) і центр ПК$_i$. Пряма l_2 може бути визначена як перпендикуляр до хорди [i; i+1], що проходить через її середину;

- прямою $'n_i$.

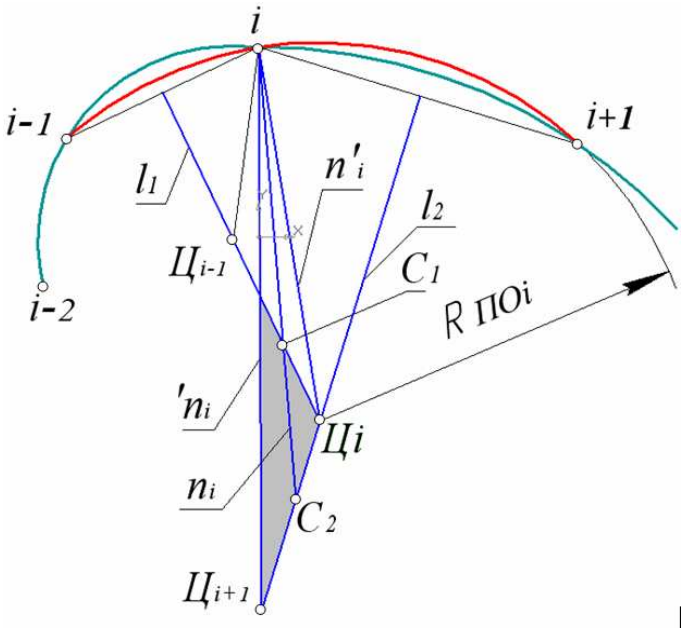


Рисунок 3

На рисунку пряма $'n_i$ проходить через точки i і $Ц_{i+1}$. Можливе розта-шування вихідних вузлів, при якому $'n_i$ буде проходити через точки i і $Ц_{i-1}$.

Вершинами трикутника центрів кривини є точки $Ц_i$, $Ц_{i+1}$ і точка пере-тинання прямих l_1 і $'n_i$, або точки $Ц_i$, $Ц_{i-1}$ і точка перетинання прямих l_2 і $'n_i$.

Як вже було відзначено, у випадку коли нормаль n_i займає крайні положення – $'n_i$ або n_i', центр кривини C_i збігається із центром відповідного ПК – $Ц_{i+1}$ ($Ц_{i-1}$) або $Ц_i$. Якщо нормаль n_i займає

 ISSN 1562-9945

проміжне положення, то C_i розташовується усередині відрізка $[C_1;C_2]$, обмеженого точками перетинання n_i із прямими l_1 і l_2, відповідно.

У випадку, коли центр кривини C_i збігається із точкою C_1, ділянка обводу $(i;\ i\text{-}1)$ буде сформована дугою кола, зістикованою із сусідніми ділянками з першим або другим порядком гладкості. Аналогічно, якщо C_i збігається із точкою C_2, дугою кола буде сформована ділянка $(i;\ i+1)$.

Необхідною умовою формування обводу з монотонною зміною кривини є розташування C_i усередині відрізка $[C_1;C_2]$.

При призначенні C_i в точках C_1 або C_2 сформувати відповідні ділянки обводу зі значеннями кривини, що змінюються, можливо тільки при порушенні монотонності зміни її значень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На підставі проведених досліджень запропоновано простий спосіб розв'язку задачі визначення області можливого розташування центрів кривини вихідної ДПК. Запропонований спосіб ґрунтується на аналізі вихідного точкового ряду, не потребує складних розрахунків та дозволяє визначити всю область можливого, за умовами задачі, розв'язку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гавриленко Е.А. Дискретное интерполирование плоских одномерных обводов с закономерным изменением кривизны / Е.А. Гавриленко// Дис.канд.техн.наук.– Мелитополь, 2004 – 182 с.
2. Гавриленко Є.А. Аналіз вихідного точкового ряду на можливість формування, на його основі, обводу з монотонною зміною кривини / Є.А. Гавриленко// Прикл геом.та інж. Графіка / Праці ТДАТА – Вип.4,Т.32.–Мелітополь 2006.– с. 94-98.
3. Гавриленко Є.А. Умови розташування стичних кіл при формуванні обводу з монотонною зміною кривини / Є.А. Гавриленко// Прикл геом.та інж. Графіка / Праці ТДАТА – Вип.4,Т.50.–Мелітополь 2011.– с. 146-150.

УДК 669. 183. 012

Л.В.Камкина, А.П. Мешалкин, Н.А. Колбин, С.В.Пшигоцкий, Я.В.Стовба

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКИ ВАННЫ ПОДОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. На основании результатов холодного и высокотемпературного моделирования разработаны рациональные режимы дутья и шлакообразования при комбинированной продувке мартеновской ванны. Определено их влияние на основные показатели плавки

Ключевые слова: комбинированная продувка, гидродинамика ванны, интенсивность перемешивания, шлакообразование.

Введение. При общей объективной тенденции дальнейшего наращивания темпов строительства высокопроизводительных кислородно – конвертерных и электросталеплавильных цехов, сложившееся соотношение способов получения стали в структуре МЧМ Украины по вкладам в общее производство продукции свидетельствует о сохранении значительной роли мартеновского передела. Использование технологической гибкости современного мартеновского процесса, интенсификации плавки продувкой окислительными и нейтральными газами, обеспечивает химический состав и гарантированные качественные показатели стали, соответствующие нормам зарубежных стандартов. Этот факт, а также возможное снижение затрат по дальнейшей внепечной обработке большинства марок стали производимого сортамента, позволяет сохранять конкурентную способность продукции мартеновского процесса в условиях нестабильности мировой экономики

Постановка задачи. Взаимодействие дутья с жидкой ванной определяет интенсивности плавления шихтовых материалов и перемешивания ванны, изменение уровня ванны, динамику выбросов, процессы окисления примесей, формирование активного основного шлака, износ огнеупорной футеровки и др. Выбор рационального

© Камкина Л.В., Мешалкин А.П., Колбин Н.А., Пшигоцкий С.В., Стовба Я.В., 2011

 ISSN 1562-9945

дутьевого и шлакового режимов плавки требует разработки и применения надежных методов и методик исследования взаимодействия дутья с ванной.

Основная часть. Уточнены особенности взаимодействия дутья с металлической ванной при различных способах подвода и размещения продувочных устройств. Определено их влияние на основные показатели процесса.

Анализ возможностей моделирования металлургических процессов [1] с использованием безразмерных критериев подобия свидетельствует о том, что, несмотря на неоспоримые возможности математического моделирования процессов, многие вопросы могут быть решены только физическим моделированием. На основании анализа рассмотренных подходов к выбору условий моделирования газогидродинамических процессов приняли соблюдение режимов истечения струй на образце и модели и геометрическое их подобие необходимыми и достаточными условиями для холодного и высокотемпературного моделирования.

Интенсивность перемешивания расплава в процессах нагрева лома и рафинирования в мартеновской печи с различными способами подвода окислительных газов является важной величиной, непосредственно влияющей на характер этих процессов и кинетику реакций на границе металл-шлак и в шлаковой фазе. Поэтому исследование влияния количества и способа размещения продувочных устройств на интенсивность перемешивания и характер циркуляции металла в ванне мартеновской печи представляют теоретический и практический интерес.

В настоящем исследовании на холодных и высокотемпературных моделях изучены особенности взаимодействия газовых струй с жидкой ванной при различных способах подвода, параметрах дутья и размещении продувочных устройств. Экспериментально определены скорости смешения жидкой ванны и циркуляции жидкой фазы и влияние на них параметров дутьевого режима и схем размещения продувочных устройств для верхней, донной, боковой и комбинированной продувки.

Исследования по отработке методики моделирования показали, что интенсивность гидродинамических процессов в зонах взаимодействия газовых струй с жидкостью, по крайней мере, на порядок ве-

личины превосходит их интенсивность в периферийных объемах ванны, во многом определяя интенсивность перемешивания ванны в целом. Площадь жидкой ванны гидравлической модели была условно разделена на три ячейки, представляющие отдельные барботажные зоны. Продувка этих зон осуществлялась через односопловые фурмы по следующим вариантам:

1 – продувка через три сводовые фурмы;

2 – продувка черед три донные фурмы;

3 – комбинированная продувка через три сводовые и три донные фурмы;

4 – комбинированная верхне – донная продувка центральной ячейки ванны с дополнительной продувкой сбоку сверху через противоположные боковые стенки модели печи.

В качестве основных показателей, определяющих интенсивность перемешивания жидкой ванны, были выбраны время ее полного смешения[2] и скорость циркуляции жидкой фазы на периферийных участках барботажных зон. Продолжительность полного смешения определялась путем импульсного ввода электролита в зону продувки.

На рис. 1 представлены зависимости эффективности перемешивания ванны для вариантов продувки через три сводовые фурмы и комбинированного верхне – донного дутья. Для комбинированной продувки вариант с расположением верхних фурм на уровне спокойной ванны оказался наиболее эффективным. Для этого варианта при подаче через дно около 20% дополнительного дутья интенсивность перемешивания, достигает интенсивности донной продувки при равенстве общих удельных расходов дутья.

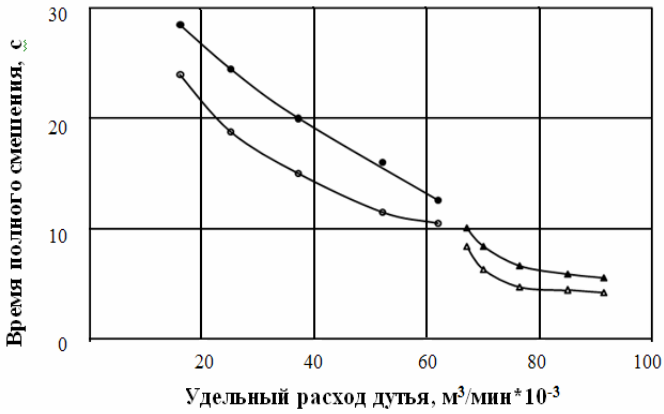


Рисунок 1 - Влияние расстояния между срезом сопла верхней фурмы и уровнем спокойной ванны (Нф) на время полного смешения (τ).

 ISSN 1562-9945

o,● - продувка сверху через три сводовые фурмы, Нф = 0 и -20 калибров соответственно; Δ,▲ - комбинированная верхне-донная продувка, Нф = 0 и -20 калибров соответственно.

С использованием экспериментальных значений времени полного смешения ванны для различных вариантов продувки оценены рассчитанные по τ величины эффективных коэффициентов диффузии вещества в жидкой ванне - Еэ, характеризующие суммарное распределение вещества за счет конвекции и турбулентных пульсаций. Как показывает анализ известных уравнений [3], при критерии Фурье равном 0,30-0,35 процесс смешения жидкой ванны практически завершается. При расходе донного дополнительного дутья 15-20% от общего при комбинированной верхне-донной продувке жидкой ванны достигаются величины коэффициентов, характерные для чисто донной продувки 120 – 150 см2/с.

При изучении возникающих циркуляционных потоков, а также по характеру откликов на кривых смешения, установлено образование общих зон взаимодействия встречных струй, их размеры и положение в объеме жидкой ванны определяется соотношением интенсивностей продувки сверху и снизу.

Для комбинированного варианта продувки характерно усиление турбулентности приповерхностных участков ванны с относительно равномерным подъемом уровня ванны без значительных выбросов и более высокая скорость конвективных потоков нисходящей части циркуляционного контура.

Можно предположить, что в режиме продувки мартеновской ванны комбинированным способом продукты реакции окисления примесей, благодаря тормозящему эффекту взаимодействия встречных струй, могут более полно использовать свой окислительный потенциал в объеме ванны. Для верхне-донной встречной продувки при расположении верхних фурм на уровне спокойной ванны получена следующая универсальная зависимость времени полного смешения ванны от интенсивности продувки $\tau = 3{,}64 \cdot q\text{-}0{,}42$.

Анализ полученных результатов холодного моделирования дает основание предположить, что наиболее рациональным, обеспечивающим максимальные скорости перемещения жидкой фазы и минимальное время полного смешения, является вариант комбинированной встречной продувки. Эти результаты подтверждают данные полу-

ченные и для условий продувки конвертерной ванны [4].

Основываясь на результатах холодного моделирования, подтверждающих эффективность комбинированной встречной верхнедонной продувки, проведены исследования на высокотемпературной 30 кг модели ванны мартеновской печи.

Учитывая сложности высокотемпературного моделирования, в работе ограничились только изучением процесса выплавки стали периода продувки жидкой металлической ванны.

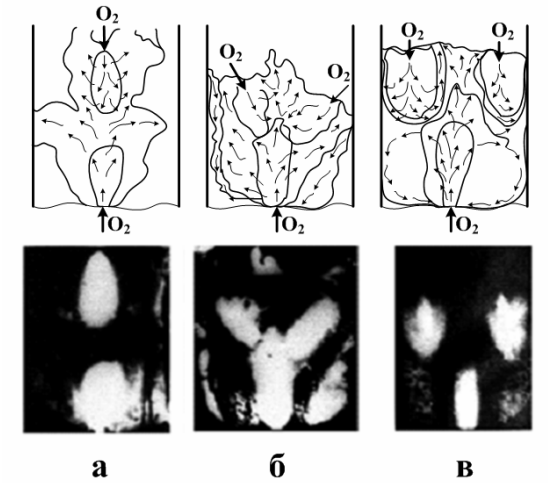


Рисунок 2 - Фотокопии и схемы взаимодействия кислородных струй с железоуглеродистым расплавом [C=1%] при комбинированной продувке: а – Qв/qд = 30·10-3/10·10-3 м3/мин; б - QвΣ/qд = 40 10-3 /12 ·10-3 м3/мин, nв = 2, nд = 1 Нф =0; в - QвΣ/qд = 30· 10-3 /10· 10-3 м3/мин, nв = 2, nд =1, Нф =0

Фотокопии взаимодействия реакционных зон верхнего и донного кислородного дутья, полученные при продувке железоуглеродистого расплава по методике с использованием прозрачной кварцевой стенки [5], представлен на рис. 2.

Характер взаимодействия реакционных зон при комбинированной продувке железоуглеродистого расплава и анализ кино – материалов подтверждает рациональность использования соосной комбинированной продувки металлической ванны.

Сравнительную опытную плавку на модели мартеновской печи проводили с подачей газообразного кислорода только через верхние сводовые фурмы при прочих равных условиях. На основании рассчитанного теплового баланса плавки, с учетом теплоты реакций окисления примесей металла, подача природного газа в рабочее простран-

 ISSN 1562-9945

ство печи в период окислительной продувки не осуществлялась.

Выводы. Уточнены особенности взаимодействия дутья с металлической ванной при различных способах подвода и размещения продувочных устройств. Определено их влияние на основные показатели процесса.

При комбинированной продувке достигается более раннее образование активного основного жидкоподвижного шлака, спокойный ход плавки без значительных выбросов металлической фазы. Дополнительная продувка снизу аргоном ускоряет в 2 – 3 раза снятие переокисленности металла в результате локального накопления кислорода в объеме ванны.Совмещение периода «чистого» кипения с интенсивным окислением примесей кислородным дутьем с достижением более интенсивного перемешивания ванны дают основание считать процесс комбинированной продувки ванны эффективным, позволяющим сократить длительность плавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марков Б.Л. Методы продувки мартеновской ванны. - М.: Металлургия, 1975. - 279с.
2. Смирнов А.Н., Салмаш И.Н., Ошовская Е.В. И др. Изучение процессов перемешивания стали в ковше при помощи физического и математического моделирования // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - №7. – С. 37-42.
3. Лыков А.В.Тепломассообмен. – М.: Энергия,1978. – 480 с.
4. Просвирин К.С., Мешалкин А.П., Охотский В.Б. Закономерности перемешивания конвертерной ванны // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1989. - №10. – С. 16-19.
5. Изучение процесса выгорания углерода с помощью киносъемки. Сообщение 2 / В.Б. Охотский, А.Г. Чернятевич, К.С. Просвирин [и др.] // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1973. - №11. – С.18-20.

УДК 622.272:622.257.1

М.І. Ступнік

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ЗАКЛАДНИХ РОБІТ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ТЕКУЧОСТІ ОБВОДНЕНИХ ГЛИНИСТИХ ПОРІД

Анотація. Запропоновано технології погашення текучості глинистих порід кусковими матеріалами при існуючих воронках обвалення. Визначено необхідний об'єм кускових порід з урахуванням пористості кускового матеріалу та середньозваженого діаметру кусків кристалічних порід у виробленому просторі.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Зменшення текучості глинистих порід за рахунок додавання в них кускових матеріалів рекомендується застосовувати в процесі відроблення крутоспадних рудних покладів системами з обваленням руди при існуючих воронках обвалення, із яких неможливо видалити обводнені глинисті породи.

Погашення виробленого простору з відповідним зменшенням текучості глинистих порід кусковими кристалічними породами є надійним способом боротьби з проривами глинистих порід у гірничі виробки в складних гірничогеологічних умовах.

Аналіз досліджень і публікацій. Заповнення штучно утвореної воронки (виробленого простору) кусковою кристалічною породою здійснюється з метою захисту розташованого нижче по падінню очисного простору від зсунення бортів воронки [1, 2] і прориву наносних глинистих порід.

Практика роботи рудників Гірської Шорії і дослідження показали [3, 4, 5-8], що при визначеному складі компонентів каркас із кускових матеріалів підвищує опір зсуву глинистих порід, додаючи закладочному масиву властивостей кускової породи.

Із вищевикладеного витікає, що основним параметром, який необхідно визначати при застосуванні кускової закладки виробленого простору є середньозважений діаметр кусків кристалічної породи [9].

© Ступнік М.І., 2011

 ISSN 1562-9945

Як показав досвід Шерегешського рудника [10], доцільний діаметр кусків кристалічної породи коливається у межах 10-100 мм, що відповідає гранулометричному складу хвостів шахтних дробильно-сортувальних фабрик (ДСФ).

Таким чином, дослідження параметрів закладочних робіт при погашенні текучості налягаючих глинистих порід є актуальною науково-практичною задачею, яка має важливе значення для гірничо-видобувної промисловості.

Постановка завдання. Метою статті є обґрунтування технології погашення текучості глинистих порід кусковими матеріалами та визначення необхідного об'єму кускових порід з урахуванням пористості кускового матеріалу та середньозваженого діаметру кусків кристалічної породи при закладці існуючих воронок обвалення над очисним простором діючих шахт.

Викладення матеріалу та результати. Погашення текучості глинистих порід кусковими матеріалами рекомендується застосовувати до початку очисних робіт при відробленні крутоспадних стовпоподібних і незначної довжини (до 100 м) рудних покладів, залягаючих під глинистими породами потужністю понад 10 м [11]. Варіант цього способу відповідно до гірничо-геологічних умов рудників Кривбасу (рис. 1) розроблено на основі досвіду відроблення вугільних родовищ [3, 4] і досліджень погашення текучості глинистих порід кусковим матеріалом [12].

Суть запропонованої технологічної схеми полягає в наступному.

Утворені в процесі підземної розробки крутоспадних рудних покладів воронки обвалення, в які проникли наносні глинисті породи, заповнюють кристалічними кусковими породами з метою зменшення текучості обводнених глинистих порід. В якості кускового матеріалу використовують хвости ДСФ, породу від проходки підземних гірничих виробок, а також кристалічні породи розкриття нижніх горизонтів кар'єрів.

Закладочний кусковий матеріал подається з поверхні у воронки обвалення спеціальними стрілочними конвеєрами або пневматичним трубопровідним транспортом.

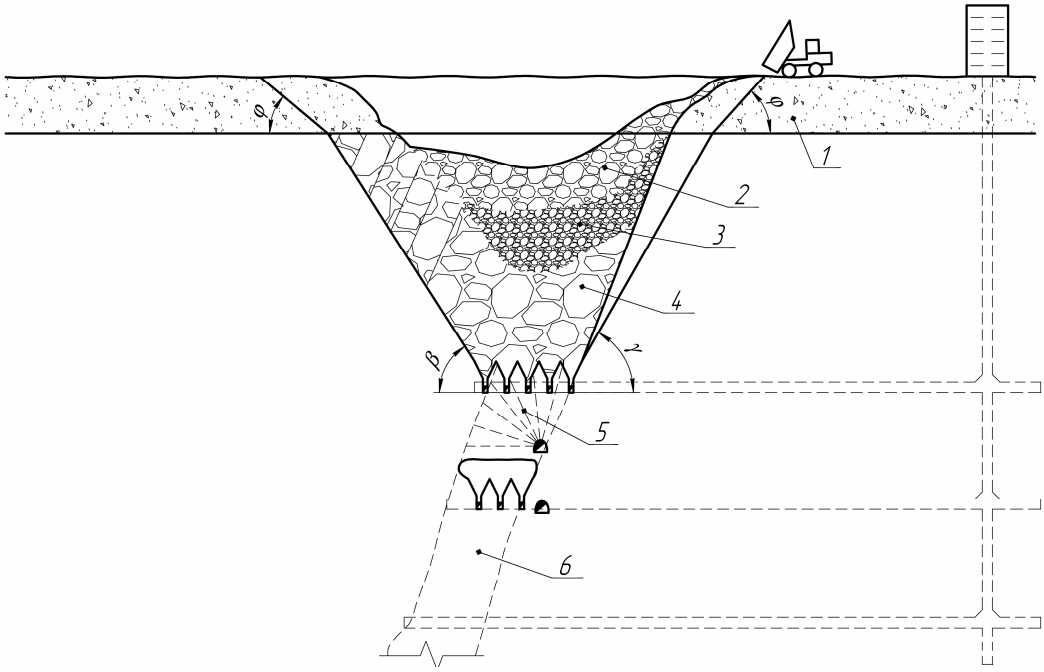


Рисунок 1 - Технологічна схема відроблення крутоспадних рудних покладів системами з примусовим обваленням руди з застосуванням кускової закладки для погашення текучості обводнених глинистих порід:

1 – наносні глинисті породи; 2 – кускова закладка з поверхні; 3 – обвалені глинисті породи; 4– обвалені вміщуючі породи; 5 – рудний масив блока, підготовлений до примусового обвалення; 6 – рудний поклад

Для визначення необхідного об'єму кускових кристалічних порід потрібно знати кількість глинистого матеріалу, який попав у вироблений простір. Об'єм глинистих порід, які перемістились у вироблений простір при відробленні крутоспадного рудного покладу, на 1 м за простяганням складає

$$V_г = k_{р.г} (h^2_{н.г.} \cdot ctg\varphi + Mh_{н.г}),$$

де $V_г$ – об'єм глинистих порід у виробленому просторі, м^3;

$k_{р.г}$ – коефіцієнт розпушення глинистих порід, част. од.;

$h^2_{н.г.}$ – потужність наносних глинистих порід, м;

$\varphi_г$ – кут зсування глинистих порід, град.;

M – горизонтальна потужність рудного покладу, м.

Як показали дослідження, погашення текучості глинистих порід кусковим матеріалом відбувається у тому випадку, коли із нього утворюється жорсткий каркас, тобто об'єм глинистої породи не перевищує пористості кускового матеріалу у виробленому просторі.

 ISSN 1562-9945

Об'єм пустот $V_{пуст}$ в 1 м^{3}кускового матеріалу складає

$$V_{пуст} = 1 - \frac{1}{k_{р.п}}, \text{ част. од.},$$

де $k_{р.п}$ – коефіцієнт розпушення кристалічних порід, част. од.

Знаючи величини $V_г$ і $V_{пуст}$, можна визначити необхідний об'єм кристалічних порід для погашення текучості обводнених глинистих порід

$$V_{к.п.} = \frac{V_г}{V_{пус}},$$

де $V_{к.п.}$ – об'єм кристалічних порід у розпушеному стані, м^3.

Спосіб захисту очисного простору від прориву глинистих порід при видаленні глинистих порід над рудним покладом з подальшою закладкою виробленого простору кусковими породами з поверхні полягає в наступному (рис. 2). До початку ведення очисних робіт із проектного контуру воронки обвалення (виробленого простору) видаляють глинисті породи (наприклад, екскаваторами-драглайнами). Потім утворену воронку (вироблений простір) заповнюють кристалічними кусковими породами (кусковою закладкою).

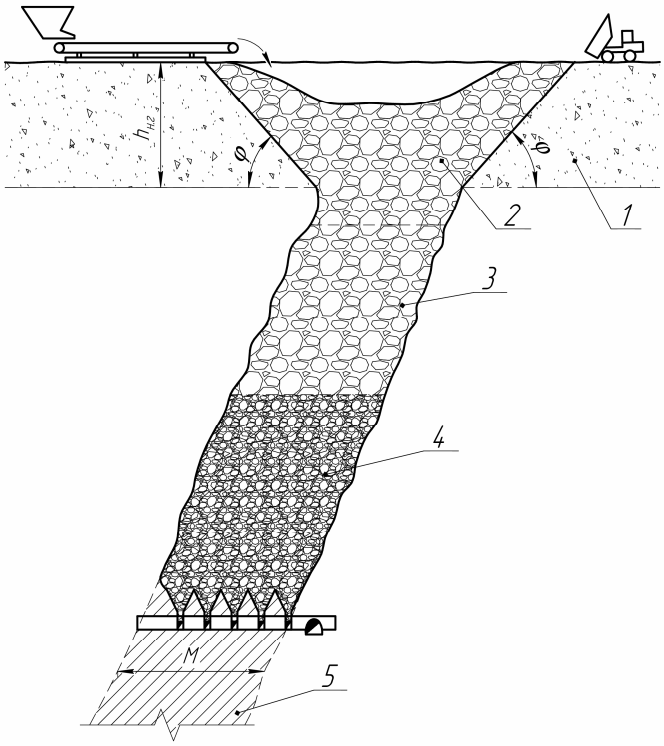


Рисунок 2 - Технологічна схема відроблення крутоспадного стовпоподібного покладу міцних руд з самопливною кусковою закладкою виробленого простору з поверхні:

1 – наносні глинисті породи; 2 – штучно утворена воронка, заповнена кусковими породами; 3 – вироблений простір, заповнений кусковими породами; 4 – обвалена руда; 5 – рудний поклад.

У процесі підземної розробки рудного покладу у воронку (вироблений простір) періодично подають з поверхні кусковий матеріал, підтримуючи рівень останнього не нижче рівня поверхні наносних глинистих порід. При такій організації робіт кускова закладка, здійснюючи горизонтальний тиск на борти воронки (виробленого простору), перешкоджає зсуненню глинистих порід з бортів воронки і проникненню їх в очисний простір блоків, які відробляються.

В якості закладочного матеріалу використовують хвости ДСФ, породу від проходки підземних гірничих виробок або від розкриття рудних покладів у кар'єрах.

Закладочний матеріал доставляється у вироблений простір з поверхні автосамосвалами, бульдозерами, конвеєрами або відвалоутворювачами.

Кількість закладочної кускової породи, яка потрібна для заповнення виробленого простору в процесі відроблення рудного покладу, визначається із виразу

$$Q_{з.п} = \frac{V_{вор.} + V_{вир.пр}}{k_{р.з.п}}$$

де $V_{вор.}$ – об'єм воронки (виробленого простору), утвореної в наносних глинистих породах, м^3;

$V_{вир.пр.}$ – об'єм виробленого простору, утвореного в процесі відроблення рудного покладу, м^3;

$k_{р.з.п.}$ – коефіцієнт розпушення кускової заклад очної породи у виробленому просторі, част. од.

Висновки. Установлено, що опір зсуву і несуча здатність закладочного матеріалу підвищуються зі збільшенням його крупності. Збільшення крупності кускового матеріалу з 10 до 100 мм підвищує несучу здатність з 2,43 до 5,74 МПа або в 2,4 раза. Домішування і зволоження глинистої породи приводить до різкого зниження несучої здатності кускової закладки.

 ISSN 1562-9945

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.И., Окатов Р.П. Борьба с оползнями на карьерах. – М.: Недра, 1980. – 89 с.
2. Певзнер М.Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах. – М.: Недра, 1978. – 89 с.
3. Широков А.П., Кулаков Ю.Н., Синельников Л.М. и др. Предупреждение прорывов глины в горные выработки. – М.: Недра,1972. – 184 с.
4. Разработка мощных крутых угольных пластов, опасных по прорыву глин/Г.А.Быстров, А.П.Филиппов, И.Ф.Башев и др. – М.: ЦНИИЭИ-уголь, 1971. – 45 с.
5. Федоров В.И., Сергевнина В.В. Влияние глинистого заполнителя на прочностные характеристики щебенисто-глинистых грунтов//Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1973. – №6. – С. 13-15.
6. Федоров В.И., Шведов В.Н. Исследование влияния прочности обломков на прочностные характеристики крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем//Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. – Красноярск: Промстройпроект. – 1975. – №35. – С. 212-219.
7. Халитов Н.Я. Сопротивление сдвигу связных грунтов с крупнозернистыми включениями//Труды ВНИИВодГеО. – М.: Гидротехника, 1977. – №68. – С. 21-23.
8. Васильева А.А., Ткаченко Г.Л., Лебедев В.Л. Исследование прочностных свойств гравийных грунтов с глинистыми заполнителями//Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1979. – №4. – С. 16-17.
9. Шеховцов В.С. Методические рекомендации по определению устойчивости кускового закладочного массива с применением глинистых пород при разработке месторождений в сложных горногеологических условиях. – Новокузнецк: ВостНИГРИ, 1982. – 22 с.
10. Отработка мощных крутопадающих рудных залежей Шерегешского железорудного месторождения в сложных горногеологических условиях/В.Ф.Храмцов, С.Я.Клубов, В.С.Шеховцов и др.//Изв. вузов. Горный журнал. – 1976. – №2. – С. 50-52.
11. Временная инструкция по предотвращению прорывов разжиженных масс в горные выработки при разработке кварцитов и ранее потерянных руд в Криворожском бассейне. – Кривой Рог, НИГРИ, 1977. – 32 с.
12. Дубынин Н.Г., Храмцов В.Ф., Шеховцов В.С., Предотвращение прорывов глинистых пород при разработке рудных месторождений. – Новосибирск, 1989. – 122 с.

УДК 621.785:681.785.369:681.785.789

Г.Ш. Кирия, Л.Х. Иванова, И.В.Шляпин, Д.В.Муха

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ РАСПЛАВ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЧУГУНА

Аннотация. Установлено существенное влияние энергоинформационного воздействия на количественные показатели структуры исследуемого чугуна и микротвердость цементита. На такие показатели как размер, форма и распределение графитных включений, а также твердость чугуна энергоинформационное воздействие не повлияло.

Ключевые слова: чугун, энергоинформационное воздействие, структура, свойство.

Постановка проблемы и состояние вопроса. Программа развития Украины, которая утверждена на период до 2020 года, предусматривает в качестве первоочередного приоритета реструктуризацию горно-металлургического комплекса на основе действующих и внедрения новых высокоэффективных технологических процессов получения железоуглеродистых расплавов и производства из них готовых деталей и заготовок.

В настоящее время продолжается развитие исследований в области создания технологии на основе взаимодействия информации в различных процессах. В [1] приведены результаты исследований энергоинформационного обмена в системах живой и неживой природы, рассмотрена роль информации в процессах самоорганизации во время фазовых превращений. Отмечается, что энергоинформационные технологии приведут к созданию материалов с уровнем свойств, приближенных к их теоретическим пределам. Получены данные, доказывающие наличие информационных взаимодействий при фазовых превращениях в сплавах [2, 3]. Наиболее чувствительными к энергоинформационному воздействию являются метастабильные системы [2], например, чугун.

© Кирия Г.Ш., Иванова Л.Х., Шляпин И.В., Муха Д.В., 2011

Постановка задачи и методика исследования.

Цель работы заключалась в применении системного подхода к разработке оценки влияния внешнего воздействия на затвердевающий чугун.

Объект исследования – чугунные образцы диаметром 32 мм и высотой 10 мм, вырезанные из средней части двух литых заготовок диаметром 35мм и высотой 100 мм. Отливки получали в одной песчаной форме из одного металла. При этом металл одной отливки с момента начала заполнения формы и до извлечения из формы подвергался энергоинформационному воздействию с помощью формоактивного генератора.

Такая методика получения образцов позволила обеспечить чистоту эксперимента, исключив неконтролируемое влияние на исследуемый металл таких технологических параметров литья, как химический состав, перегрев металла перед заливкой, скорость и время заливки, скорость охлаждения в форме и температура отливок при извлечении из формы.

Отливки получали из электропечного чугуна следующего усредненного состава, % по массе: 2,47 углерода; 1,94 кремния; 0,16 марганца; 0,15 серы; 0,07 фосфора; 0,21 хрома; 0,015 никеля; 0,031 молибдена; 0,023 титана; 0,02 вольфрама; тысячные доли сурьмы, свинца и ванадия.

Химический состав чугуна в центральной и приповерхностной зонах отливок определяли методом спектрального анализа на приборе «Leco». В этих же зонах измеряли твердость по Шору и микротвердость отдельных структурных составляющих чугуна (перлита и цементита). Микротвердость цементита и перлита измеряли на приборе ПМТ-3 (№ 59586) при нагрузке 0,49Н и увеличении х485. Величину микротвердости определяли по результатам 51 замера, точность замера диагонали отпечатка индентора ±0,07 мкм.

Микроструктуру чугуна опытных плавок исследовали с помощью оптического микроскопа МИМ-8 при увеличениях 100 и 200. Микроструктуру чугуна образцов оценивали по ГОСТ 3443-87 (соответствует международному стандарту ИСО 945-75).

Для более точной оценки структуры количество структурных составляющих определяли точечным методом Глаголева А.А. [4]: окуляр Гюйгенса 7^x с квадратной сеткой (289 узловых точек), 25 по-

лей зрения при увеличении х420. Абсолютная погрешность ±1 при доверительной вероятности Р=0,5.

Результаты исследований. Результаты оценки показателей исследуемого внешнего воздействия приведены в таблице.

В исходном состоянии чугун был половинчатым, структура которого характеризовалась баллами: содержание графита – ПГф2-ПГд45-ПГр6-ПГ6, содержание цементита – Ц4-Цп6000, металлическая основа – Пт1-П(Ф0)- ПД0,5.

В результате проведенных исследований установлено, что на форму графитных включений энергоинформационное воздействие влияния не оказывало (см. табл.). Размер включений графита и их распределение также оставались неизменными после энергоинформационного воздействия. Однако количество графитной составляющей в структуре чугуна увеличивалось в 1,94 раза – от 8,63 до 16,74%. Количество цементитной составляющей структуры чугуна также увеличилось, но только в 1,32 раза – от 6,60 до 8,74%. Микротвердость цементита снижалась на 28,5% после энергоинформационного воздействия. Количество же перлита в структуре чугуна увеличивалось в 1,94 раза – от 8,63 до 16,74%. Количество цементитной составляющей структуры чугуна также увеличилось, но только в 1,32 раза – с 6,60 до 8,74%. Микротвердость цементита снижалась на 28,5% после энергоинформационного воздействия.

Показатели	Опытные отливки	
	не подвергались энергоинформационному воздействию	подвергались энергоинформационному воздействию
1. Металлографический анализ		
Форма графита	ПГф2, Пластинчатая завихренная	ПГф2, Пластинчатая завихренная
Размер графитовых включений Распределение графита Количество графита, % Количество перлита, % Дисперсность перлита, мкм Количество цементита, %	ПГд45 ПГр6, Сетчатое 8,63 84,77 0,58 6,60	ПГд45 ПГр6, Сетчатое 16,74 74,52 0,58 8,74
2.Свойства чугуна		
Твердость по Шору, HSD Микротвердость, МПа: - перлита - цементита	39 4120 7690	40 4110 5500

 ISSN 1562-9945

Количество же перлита в структуре чугуна уменьшалось в 1,1 раза – с 84,77 до 74,52%, дисперсность перлита и его микротвердость – практически не изменялись. Исследование твердости чугунов до и после энергоинформационного воздействия. не показало существенных изменений.

Таким образом, установлено существенное влияние энергоинформационного воздействия. на количественные показатели структуры исследуемого чугуна и микротвердость цементита, а на такие показатели, как размер, форма и распределение графитных включений энергоинформационное воздействие влияния не оказывало. При этом твердость чугуна после энергоинформационного воздействия также не изменялась.

Выводы.

1. Энергоинформационное воздействие привело к значительному (в 1,94 раза) увеличению количества графита в структуре чугуна, количество перлита уменьшилось в 1,1 раза, а цементита увеличилось в 1,4 раза. При этом микротвердость цементита уменьшилась на 28,5%. На форму и размер графитных включений, дисперсность перлита, твердость по Шору и микротвердость перлита ЭИВ практически не повлияло.

2. Результаты настоящего исследования позволяют считать перспективным применение энергоинформационного воздействия на затвердевающие метастабильные сплавы с целью улучшения их физико-механических свойств. Объектом исследования энергоинформационного воздействия могут быть, например, чугунные прокатные валки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долженков И.Е., Клименко Л.П., Карнаух А.И., Андрианова И.И. К вопросу об энергоинформационных технологиях //Теория и практика металлургии. – 1999. – №1.– С. 42–47.
2. Вейник А.И. Термодинамика реальных процессов. – Минск: Наука и техника, 1991.– 576 с.
3. Энергоинформационное единство мира – новая парадигма технологического развития: Материалы научно-практической конференции. Днепропетровск, 1994. – 60 с.
4. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография: Стереология металлических материалов. – М.: Металлургия, 1976. – 272 с.

УДК 621.74:669.15.74

Л.А. Адаменко, Г.Н. Зимокос, Л.Х. Иванова, Ю.Н. Бура

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К СОВЕРШЕНСТВАНИЮ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ В ОТЛИВКАХ БРОНЕЙ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК

Аннотация. Установлено влияние химического состава на свойства высокомарганцевой стали в отливках броней конусных дробилок, что дало возможность обосновать легирующий комплекс для таких отливок.

Ключевые слова: отливка, сталь, легирование, структура, свойство, стойкость.

Постановка проблемы и состояние вопроса. При производстве стали Гадфильда [1] приходится решать ряд моментов, отрицательно влияющих как на технологические, литейные, так и эксплуатационные свойства отливок: а) при эксплуатации стали 110Г13Л в условиях высоких абразивных и низких динамических нагрузок, не успевает образоваться упрочнённый поверхностный слой, что ведёт к быстрому выходу деталей из строя; б) высокое содержание фосфора, вносимого в сталь со средне- и высокоуглеродистым ферромарганцем, и как следствие – выделение фосфидной эвтектики по границам зерен; в) выделение карбидов по границам зерна; г) высокое содержание в металле газов и неметаллических включений при высокой закиси марганца в шлаке; д) склонность к росту дендритов при высокой температуре заливки и др.

Состав высокомарганцевой стали колеблется в пределах: 1,0...1,4% C; 0,4...1,0% Si; 10,0...14,0% Mn; 0,08...0,12% P; 0,02...0,04% S. Средний, наилучший состав стали для фасонных отливок: 1,25% C; 0,8% Si; 12,5% Mn; P<0,10%; 0,02%S. В этом составе оптимально отношение Mn/C, равное 10. Высокое содержание углерода в стали получается автоматически, при присадке обычного доменного ферромарганца, в котором отношение Mn/C несколько выше 10 (80% Mn и 7% C). Содержание кремния определяется его влиянием как раскислителя и отчасти как успокоителя. Несмотря на высокое содержание марганца в стали, ее необходимо раскислять, имея в виду и известное

© Адаменко Л.А., Зимокос Г.Н., Иванова Л.Х., Бура Ю.Н., 2011

 ISSN 1562-9945

восстановление MnO. Установлено, что при присадке 0,6...1,0% Si вместо обычных 0,25...0,45% получаются более высокие свойства стали из-за ее очищения, всплывания легкоплавких силикатов марганца. Содержание фосфора обычно не удается иметь ниже 0,08% (редко 0,06%). Фосфор вводится в сталь ферромарганцем, содержащим обычно 0,3...0,4% P. Удалить фосфор в процессе плавки обычными методами (железисто-известковыми шлаками) нельзя, так как одновременно будет окисляться марганец. Небольшого понижения содержания фосфора можно добиться введением пиролюзита в шлак после добавки ферромарганца. Несмотря на высокое содержание углерода, фосфор до 0,12% мало влияет на понижение пластичности стали, так как он находится в твердом растворе внутри аустенитного зерна. Только при содержании P>0,12%, когда свободные сложные фосфиды могут находиться уже по границам зерен, появляется значительная хрупкость не только при нормальных, но и при высоких температурах. Низкое содержание серы в 0,02% часто получается также автоматически, благодаря высокому содержанию марганца в стали. Поэтому при плавке высокомарганцевой стали обычно не проводятся какие-либо специальные мероприятия по десульфурации стали в печи под шлаками.

В зависимости от условий работы деталей из высокомарганцевой стали 110Г13Л, к ее химическому составу и механическим свойствам, а также к способам производства предъявляются различные требования. Однако широкие пределы концентраций углерода и марганца при прочих равных условиях не гарантируют постоянства свойств даже для деталей одного и того же назначения.

Известно, что модифицирование и легирование являются одними из важнейших средств повышения надежности и долговечности литых деталей. Под модифицированием понимается процесс регулирования первичной кристаллизации стали, изменения степени дисперсности кристаллизующихся фаз путем введения в расплав малых добавок отдельных элементов или их соединений. Влияние химического состава и некоторых легирующих элементов исследовали авторы [2-3].

Цель работы заключалась в применении системного подхода к исследованию влияния основных химических элементов, входящих в

марганцовистую сталь, а также титана, ванадия и хрома на ее механические и эксплуатационные свойства.

Основные результаты исследования. Уточнение химического состава системы C-Mn-Si-P осуществляли методом активного эксперимента [4]. При проведении опытов была реализована полуреплика от полного факторного эксперимента 2^4. По результатам механических и эксплуатационных испытаний исследуемых вариантов стали, были вычислены коэффициенты уравнений регрессии и проверена математическая модель на адекватность.

Анализ абсолютных значений, доверительных интервалов значимости и знаков коэффициентов уравнений регрессии показал, что из всех элементов состава наибольшее влияние на свойства стали и стойкость броней конусных дробилок оказывали углерод и фосфор. При этом влияние фосфора на свойства стали было в 5 раз сильнее, чем углерода. Углерод несколько повышал прочность стали, но резко снижал пластичность. Марганец, в исследуемых пределах, незначительно повышал прочность и пластичность. Повышение содержания кремния снижало износостойкость отливок за счет снижения уровня механических свойств стали. Полученные зависимости подтверждены многолетней практикой эксплуатации отливок дробильного оборудования (рис.1).

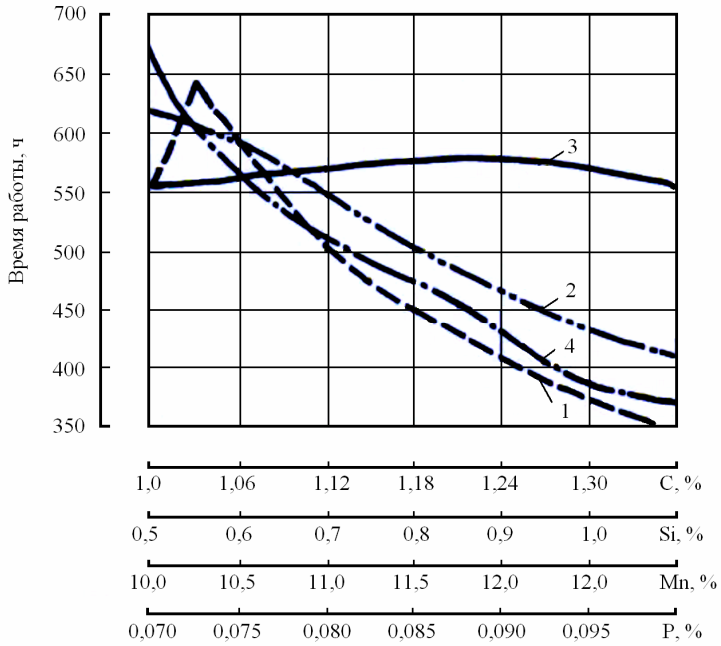


Рисунок 1 - Влияние основных химических элементов, входящих в марганцовистую сталь, на стойкость броней конусов: углерод (1), кремний (2), марганец (3) и фосфор (4)

 ISSN 1562-9945

Из расчетов следует, что, снизив содержание фосфора с 0,07...0,10% до 0,02...0,05% можно повысить пластичность, вязкость и износостойкость стали на 40...50%. Влияние фосфора может усиливаться или ослабляться в зависимости от содержания углерода в стали. При высоких концентрациях углерода фосфор более опасен, чем при низких. Исследования показали, что для тяжелонагруженных отливок содержание углерода в стали должно выбираться в зависимости от содержания фосфора: C=1,27–2,7 P.

С целью повышения износостойкости отливок броней конусных дробилок применяли легирование стали хромом в количестве 0,5...1,2%. При таких концентрациях хрома низкофосфористая сталь при оптимальном содержании углерода (1,2...1,3%) обладает достаточно высокой вязкостью и износостойкостью. Повышение износостойкости стали 110Г13ХЛА вызвано появлением в аустенитной матрице хромистых карбидов, обладающих высокой твердостью и прочностью. При термообработке часть карбидов растворяется и упрочняет высокомарганцовистый аустенит. Оставшиеся карбиды измельчаются и при эксплуатации способствуют упрочнению металла за счет создания вокруг них заблокированных скоплений дислокаций. Прочность металла при этом повышается, пластичность и вязкость несколько снижаются, но остаются на уровне, превышающем характеристики обычной высокомарганцевой стали, и обеспечивают нормальную эксплуатацию броней без поломок и повышение износостойкости в среднем на 15...20%.

Исследование опытных плавок стали 110Г13Л с ванадием показали, что присадки ванадия изменили природу и характер распределения неметаллических включений в стали. Микротвердость стали с ванадием непрерывно возрастала по мере повышения концентрации ванадия за счет повышения легированности аустенита, однако при ее однородности, более гомогенной является сталь с содержанием ванадия 0,3%. Присадки ванадия в оптимальных количествах способствовали повышению механических свойств (табл. 1) и износостойкость стали.

Наилучшими характеристиками обладала сталь с содержанием ванадия 0,2...0,3%, при этом ее износостойкость повышалась на 20...30%.

Таблица 1

Влияние ванадия на механические свойства литой стали 110Г13Л

Содержание ванадия	Механические свойства			
	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	KCU, кДж/м^2
-	659	28,1	26,6	216
0,2...0,3 %	830	32,4	29,4	227
0,5...0,6 %	781	22,5	21,6	174

Выводы

1. Исследованиями установлено, что в стальных отливках броней конусных дробилок содержание углерода взаимосвязано с содержанием фосфора: C=1,27–2,7 P.

2. Определен эффективный легирующий комплекс химических элементов Cr+V в высокомарганцевой стали, способствующий повышению механических свойств и износостойкости отливок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов Л.Я. Производство стальных отливок / Л.Я. Козлов, В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин.– М.: МИСИС, 2003.–352 с.
2. Павлов Г.С. Влияние фосфора и углерода на стойкость отливок броней конусных дробилок / Г.С.Павлов, А.А.Шерстюк, Г.Н.Зимокос и др.//Литейное производство.–1971.– № 4.– С.39–40.
3. Зимокос Г.Н. и др. О рациональном составе высокомарганцевой стали/ Г.Н. Зимокос, Н.М. Шелудько, А.А. Шерстюк и др. //Литейное производство.–1971.– № 11.– С.10–11.
4. Налимов В.В., Чернова Н.А., Парасюк П.Ф. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов.– М.: Наука, 1965.– 279 с.

 ISSN 1562-9945

УДК 621.74:669.131.7

Л.Х. Іванова, Я.С. Маймур, А.Ю. Калашникова, Т.В. Захарова

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СЛУЖБОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ

Анотація. становлено вплив хімічного складу на структуру та властивості чавуну для прокатних валків і молольних куль, що дало можливість обгрунтувати легувальний комплекс для таких виливків.

Ключові слова: виливок, чавун, легування, структура, властивість.

Постановка проблеми та стан питання. Ливарні чавуни, як правило [1,2], розрізняють за мікроструктурою: сірий чавун (вуглець у вигляді пластинчастого або кулястого графіту), білий чавун (вуглець у вигляді цементиту або карбідів заліза) та ковкий чавун, що одержується відпалом білого чавуну (хлоп'євидний графіт). У білому чавуні евтектика, що утворюється при кристалізації – ледебурит може мати два різновиди: стільниковий і пластинчастий. Ледебурит має підвищену твердість і крихкість через високу твердість і крихкість цементиту. Крихкішим є ледебурит стільникового типу, при руйнуванні тріщини проходять по крихкій суцільній цементитній матриці. Ледебурит пластинчастого типу у порівнянні з ледебуритом стільниковим декілька менш крихкий, тому тріщини частіше проходять по аустенітних прошарках.

Відомо, що модифікування та легування є важливішими засобами підвищення надійності та довговічності таких литих деталей, як прокатні валки та молельні кулі. Під модифікуванням розуміється процес регулювання первинної кристалізації сплаву, зміни ступеня дисперсності фаз, що кристалізуються, шляхом введення в розплав малих добавок окремих елементів або їх сполучень. В реальних виробничих умовах, коли задані швидкість охолодження виливків, склад чавуну та температура розплаву, цей фактор є єдиним в руках технолога. В ряді робот ефект модифікування пояснюється утворенням в розплаві кремнезему й особливо тридиміту [3].

© Іванова Л.Х, Маймур Я.С., Калашникова А.Ю., Захарова Т.В., 2011

Алюміній, кальцій, титан, сприяючи утворенню тридиміту, посилюють модифікувальний ефект феросиліцію. В роботі [4] наведені результати досліджень по з'ясуванню ролі домішок в процесі формування структури чавунних виливків. Вводили добавки MgO, Al_2O_3, WC, TiC, SiO_2, CeS, які, сприяючи підвищенню температури початку кристалізації евтектики, полегшували процес утворення зародків на них. Стійкі в розплаві чавуну частинки WC, TiC, CeS самі були підкладками для графіту або полегшували виділення сульфіду марганцю, який був підкладкою. Розчинні ж елементи, наприклад, церій, полегшували зародження колоній, але, зменшуючи в зв'язку з цим переохолодження розплаву, сповільнювали їх початковий ріст.

Вплив хімічного складу та деяких легувальних елементів досліджували автори [2,5-7]. В роботі [6] встановлено, що дія титану на форму графіту в модифікованому чавуні проявляється подвійно і залежить від способу введення в чавун. Титан, який присутній в розплаві чавуну до обробки його модифікатором, сприяє кристалізації сильно подрібненого пластинчастого графіту, тобто діє як типовий сильний демодифікатор. Добавка губчастого титану в рідкий оброблений магнієм чавун демодифікувальної дії не показувала та навіть сприяла одержанню кулястого графіту, тобто проявляла модифікувальну дію. В роботі [7] сказано, що хоча рідкісноземельні метали, як кажуть, брати – близнюки, необхідно звернути увагу на те, що іноді існують значні відмінності їх фізичних властивостей, які відбиваються на їх застосуванні. Наприклад, температура плавлення лютецію 1660°С, а церію – 800°С (співвідношення 2:1); гадоліній – феромагнетик, а лантан – надпровідник; густина скандію –3, а лютецію– 9 г/см^3. Легкі лантаноїди легко окислюються при кімнатній температурі, тоді як важкі (гадоліній та ін.) стійкі проти окислення, тому що мають щільні оксидні плівки.

В Україні як основний модифікатор для одержання високоміцних чавунів застосовується чистий магній або комплексні модифікатори на його основі. При обробці чавунного розплаву магнієм виникають труднощі, які пов'язані з інтенсивним його випаруванням, що сприяє викидам металу, піроефектам, загазованості приміщень. Тому протягом багатьох років ведуться роботи по заміні магнію іншими модифікаторами.

 ISSN 1562-9945

Наведені дані свідчать про те, що, незважаючи на важливість модифікування і легування як засобу управління структурою та велику кількість робот по дослідженню механізму впливу їх на зародження і ріст твердої фази та фізико-механічні й службові властивості чавунів, питання залишається відкритим та потребує подальших досліджень.

Метою роботи є застосування системного підходіу до розроблення технології одержання чавуну з підвищеними характеристиками зносостійкості, міцності та ударостійкості, яких потребує сучасне виробництво.

Основні результати дослідження. Вплив окремих елементів на структуру і властивості чавуну дуже різноманітний, і так само є багато додаткових факторів, які можуть змінювати вплив того або іншого елементу. Змінний якісний і кількісний вплив різних елементів на структуроутворення сплавів ускладнює можливість їхньої класифікації за ознакою інтенсивності цього впливу, тим більше, що в багатьох випадках, наявність у сплаві двох карбідоутворюючих елементів не обов'язково посилює їх окремий вплив, а іноді нівелює його. Тому задача з підбирання легувального комплексу, зводилася до того, щоб нейтралізувати небажаний вплив окремих елементів і посилити їх спільний вплив.

Був запропонований чавун такого складу, мас.%: вуглець - 3,5...4,2; кремній - 1,2...1,8; марганець - 2,5...4,0; нікель - 1,5...2,5; ніобій - 0,05...0,1; титан - 0,20...0,25; церій - 0,06...0,10; ітрій - 0,06...0,10; лантан - 0,04...0,08; неодим - 0,04...0,08; гафній – 0,02-0,08%, залізо - решта.

Для оцінки властивостей запропонованого чавуну і його структурного стану отримали експериментальний чавун. За цього застосовували наступні шихтові матеріали: чавун переробний ПВК1, ПВК2, ПВК3 ДСТУ 3133-95; чавун ливарний Л1, Л2 ДСТУ 3132-95; чавун валковий ЧВ-1, ЧВ-2 ГОСТ 1465-80; лом сталі 1А, 2А, 3А ГОСТ 2787-75; феросиліцій ФС75 ГОСТ 1415-91; феромарганець ФМн78, ФМн70 ДСТУ 3547-97. Легувальні елементи відповідали таким параметрам: феротитан ФТи30 ГОСТ 4761-91; фероніобій ФНБ60 ГОСТ 4765-91; титан губчастий ТГ-130 ДСТУ 3079-95. Модифікувальні елементи (церій, ітрій, лантан, неодим) вводили у ківш перед випуском металу у вигляді ітрій-церієвої та лантан-неодимової лігатур такого складу,

мас.%: 1) ітрій 15...20, церій 15...20, вуглець 0,3...0,5, кальцій 0,4...0,5, кремній 30...35, залізо – решта, 2) лантан 15...20, неодим 15...20, вуглець 0,3...0,5, кальцій 0,4...0,5, кремній 30...35, залізо – решта.

Експериментальні плавки проводили в індукційній печі з кислою футеровкою, вага шихти 40 кг. Після розплавлення шихти потужність печі знижували до 30-40% від максимальної, зчищували шлак періоду плавлення, заміряли температуру та вводили гафній у вигляді гафнієвої лігатури такого складу, мас.%: гафній 90, залізо решта. При доводці сплаву за температури металу 1520...1530°С вводили феросплави ніобію та титану.

При температурі 1500±5°С чавун випускали у ківш з необхідною наважкою модифікаторів та при досягненні температури 1330...1340°С заливали у кокільні форми. Виливки мали розміри: 1) куля діаметром 60 мм, 2) циліндр діаметром 50 мм, висотою 200 мм. З цих виливків вирізали зразки для хімічного аналізу, металографічних досліджень, випробування границь міцності при розтягу та вигині, ударостійкості, зносостійкості. Випробування механічних властивостей проводили за стандартними методами. Зносостійкість сплаву визначали на установці СМЦ-2 при терті ковзання з зусиллям 700 МПа. Модуль пружності визначали ультразвуковим методом на установці УЗИС-ЛЭТИ. Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 500 Н. Випробування ударостійкості робили за кількістю ударів до руйнування литої кулі при падінні її з висоти 6 м. Хімічний аналіз дослідного чавуну наведений у таблиці 1.

Як видно з таблиці 2, поставлена мета досягнута. Зносостійкість запропонованого чавуну, міцностні властивості та ударостійкість мали необхідні високі значення.

Таблиця 1

Хімічний склад дослідних чавунів

№ чавуну	Хімічний склад, мас.%										
	C	Si	Mn	Ni	Nb	Ti	Ce	Y	La	Nd	Hf
1	3,5	1,2	2,5	1,5	0,05	0,20	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02
2	4,2	1,8	4,0	2,5	0,10	0,25	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08
3	3,9	1,4	3,3	2,0	0,08	0,23	0,08	0,08	0,06	0,06	0,05
4	3,8	1,42	3,3	2,1	0,02	0,23	0,08	0,078	0,06	0,065	0,01
5	3,8	1,4	3,3	2,0	0,15	0,23	0,08	0,08	0,063	0,06	0,09

 ISSN 1562-9945

Висновки. 1. Експериментальний чавун мав у структурі істотно підвищену дисперсність структурних складових, в тому числі пластинчастої карбідної фази, а також велику кількість високотвердих спеціальних карбідів, що й сприяло отриманню високої зносостійкості.

Таблиця 2

Властивості дослідних чавунів

№ чавуну	Властивості		
	Ударостійкість, разів	Зносостійкість, г	Міцність σ_B, МПа
1	2590	0,018	685
2	2680	0,017	690
3	2635	0,016	680
4	2300	0,022	660
5	2400	0,014	660

2. Сумісне легування чавуну титаном і ніобієм призводило до зміни форми карбідів ніобію з розгілкованої, причому гілки були розміщені переважно під кутом 120° (у чавуні без титану), на найбільш схвальну – кубічну. Також у структурі виділялася велика кількість дрібнодисперсних карбідів титану.

3. Модифікування церієм, ітрієм, лантаном і неодимом у вказаних границях сприяло кристалізації розплаву за метастабільною системою, що дозволило підвищити міцність чавуну.

4. Гафній у дослідному чавуні виявив перлітоутворюючий вплив на структуру металевої матриці та підвищив ступінь дисперсності продуктів евтектоїдного перетворення аустеніту, за цього збільшилися показники міцності та ударостійкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Большой энциклопедический словарь/ Гл. ред. А.М.Прохоров.–3-е изд.– М.: Сов. энциклопедия, 1991.– 1631 с.
2. Ferrous metals//Machine Design.–1984.–Vol.56, №8.–P.7–12,14–18,20–26,31–33.
3. Orths K., Weis W. Die Rolle der kieselerde bei der Strukturenbildung im Guseisen // Giessereiforschung.–1973.–Bd.25, №1.– P. 1–8.
4. Комаров О.С. Теоретические основы и методы управления структурой и свойствами чугуна для быстроизнашиваемых деталей машин: Автореф. дис.…доктора техн. наук: 05.02.01, 05.16.04 / Белорус. политехн. ин–т.– Минск, 1988.– 32 с.
5. Машиностроение. Энциклопедия/Ред.совет:К.В.Фролов (предс.) и др. Стали. Чугуны. Т.II-2 / Г.Г.Мухин, А.М.Беляков, Н.Н.Александров и др.– М.:Машиностроение,2000.–784 с.
6. Руденко Н.Г. Изучение ремодифицирующего влияния церия, лантана и титана на процессы формообразования графита при кристаллизации чугуна: Автореф.дис.…кан.техн.наук:05.323/ИПЛ АН УССР.–К.,1969.–24 с.
7. Савицкий Е.М. Перспективы исследования и применения редкоземельных металлов, сплавов и соединений // Редкоземельные металлы и сплавы. – М.: Наука, 1971.– С.5–17.

УДК 629.4

В.В. Скалозуб, В.А. Андрющенко, С.Ю. Разумов, М.В. Скалозуб,
К.С. Фокша, О.М. Швец

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ, ПРОГНОЗИРОВНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РЕЙТИНГОВЫХ ОЦЕНОК

Аннотация. Разработана информационная технология, предназначенная для решения комплекса задач в области многокритериального анализа свойств, диагностики, прогнозирования и управления сложными системами различных классов, функционирование которых оценивается наборами разнокачественных показателей. Создан программный комплекс на основе MS SQL Server, автоматизирующий задачи управления объектами на основе рейтинговых оценок.

Ключевые слова: информационные технологии, сложные системы, рейтинговые оценки, диагностика, база данных, многокритериальность, кластеризация, прогнозирование, управление.

Введение. Основные проблемы, которые автоматизируются в представленной информационной технологии, обусловлены комплексом задач по управлению информацией, многокритериальному анализу деятельности, планированию стратегии развития на основе рейтинговых оценок (далее ИТРО). Отличительной чертой объектов, для которых предназначена ИТРО, является общая структура информационной базы – системы разнокачественных показателей, представляющих результаты деятельности за некоторые периоды (другие свойства системы), сгруппированные заданным способом. При этом из-за многочисленности набора рассматриваемых составляющих и др., не существует общей модели системы управления. Для сравнения отдельных элементов множества, на основе которого выполняется анализ свойств системы и ее составляющих, принимаются решения по управления, вводятся правила оценки и сравнения – рейтинговые оценки (РО) [1]. С помощью РО ранжируются элементы, что служит

© Скалозуб В.В., Андрющенко В.А., Разумов С.Ю., Скалозуб М.В., Фокша К.С., Швец О.М., 2011

 ISSN 1562-9945

общей относительной оценкой качества элементов а управление отдельными элементами связывается с повышением рейтинга объекта. Содержанием предлагаемой ИТРО является использование правил «рейтингования» в качестве модели управления. Далее в ИТРО процесс управления представлен как совокупность типичных задач, реализация которых опирается на оптимизационные процедуры многокритериального иерархического анализа Т. Саати (МАИ) [2], диагностики состояний объектов с использованием сетей Кохонена [3], процедур обобщения (кластерный анализ [3]), а также прогнозирования [3, 4]. Автоматизированное решение типовых задач многокритериального выбора вариантов, управления множествами объектов, прогнозирование параметров сложных систем на основе эталонов реализовано на основе баз данных – СУБД MS SQL Server [5]. Такая структура ИТРО открывает возможность управления широким кругом сложных систем (Административные Территориальные Объединения – АТО, предприятия, учебные заведения, персонал и др.) на основе общей теоретической и прикладной базы. Указание на принцип устойчивого развития как стратегическую задачу формируемого управления отражает требование всестороннего анализа свойств, текущих и перспективных потребностей элементов систем. В целом задачей создания ИТРО является обеспечения возможности повышения обоснованности и действенности планов развития сложных социально-экономических систем.

Особенности задач и моделей управления на основе рейтинговых оценок Проблемы управляемого развития сложных социально-экономических образований тесно связаны с ограниченными возможностями формализации задач управления [3, 6]. Во многих случаях здесь имеют место слабо формализованные задачи в области представления, моделирования и соответственно - управления. Главные причины возникновения таких типов задач заключаются в существовании комплексов условий неопределенности [6]. Информационная поддержка задач управления должна реализоваться путем установления и формулировки некоторых типичных задач, которые обеспечиваются соответствующими исходными данными. В ИТРО предлагаются формулировки и методы решения базовой совокупности типовых задач, а также средства по обеспечению необходимой информационной базы.

В задачах управления сложными объектами могут быть выделены следующие составляющие: условия, формулировка задачи, модельные формы отражения объекта анализа, связи между внутренними и внешними элементами условий, установленных и неявные зависимости и ограничения, разнообразная часто неполная информация об объекте, определения понятия решения задачи и его характерные признаки др. [4-6]. Каждому из перечисленных элементов можно поставить в соответствие свойства, определяющие слабую формализацию задачи в силу неполной информацию об условиях и др. Для рассматриваемых сложных социально-экономических систем (СЭС) ими являются неопределенность условий, прогнозов, их противоречивость, неопределенность критерия. Наличие в задачах хотя бы одного из перечисленных факторов неопределенности делает ее слабо формализованной, слабоструктурированной.

Важной особенностью задач управления на основе планирования стратегического развития СЭС являются значительные трудности по установлению критериев, которые достаточно бы в целом характеризовали процессы их развития. Невозможно представить многогранные задачи развития крупных городов, территорий, персонала, как реализацию модели некоторого одного принципа, например, «затраты - выгоды», «затраты - эффективность» др. Поэтому далее считается, что наиболее целесообразным для реализации задач рационального (оптимального) управления СЭС является принцип «затраты - результаты», когда рациональным считают управление, которое обеспечивает наибольшие возможности положительных изменений в комплексе сфер, характеризующих функционирование города, района, региона, персон и др. [6].

Из-за значительной сложности объекта управления одним из базовых реализованных в ИТРОположений является использование методики рейтинговых оценок (сравнительный анализ) в качестве комплексной модели системы управления развитием, а также создание средств автоматизации по управлению развитием в форме комплекса типовых задач. К ним отнесены следующие задачи: - обобщение данных на основе группировки (кластеризация, определение «близких» между собой групп объектов) с целью применения при управлении одинаковых стратегий действий; -задачи многокритериального оптимального выбора, как основы для формирования рацио-

 ISSN 1562-9945

нальных планов управления, - прогнозирование на основе прототипов (эталонов, прецедентов и т.д.) средствами экстраполяции, что позволяет на ранних этапах формирования прогнозов определить оценки ресурсы, значения параметров и др., - анализ чувствительности (влиятельности) уровней значений отдельных показателей на общий рейтинг сложной системы, - задача диалогового анализа (в форме деловой игры) управляемости комплексом показателей деятельности системы, - задачи планирования на основе применения оптимального распределения ресурсов.

Отмеченные и ряд других задач, реализованные в ИТРО, обеспечивают возможность решения широкого спектра задач управления развитием в различных сферах применения в соответствии с принципом «затраты - результаты».

Задачи и общая структура информационной технологии ИТРО. ИТРО как автоматизированное формирование и оптимальное планирование стратегии развития включает: - методики по реализации задач планирования стратегии развития (деловые игры, сравнительный анализ, оптимальное планирование параметров стратегии развития), - систему показателей для оценки деятельности или свойств объектов; - математические модели рейтингового оценивания и анализа эффективности управления, мероприятий и др.; - программное обеспечение по автоматизации заданий анализа, прогнозирования и планирования.

Методика стратегического планирования и программное обеспечение ИТРО может применяться для решения следующих задач: - анализ управляемости системы – установления совокупности наиболее влиятельных параметров для изменения рейтинга системы; - самоанализа (если-то) – анализ эффективности на предыдущих этапах; - сравнительный анализ, с учетом прогнозов развития систем; - планирование – оптимальное распределение ограниченных ресурсов между различными сферами деятельности АТО и др. сложных систем.

Каждая из перечисленных задач представляет некоторый сценарий исследования свойств объектов как системы показателей, обобщаемых на основе рейтинговых моделей. Методы рейтинговых оценок дополняются средствами автоматизированного многокритериального анализа (иерархическая классификация) и выбора мер по планированию стратегии развития (МАИ), как составляющих систе-

мы поддержки принятия решений по стратегическому развитию АТО и др.

Структура программного обеспечения ИТРО обеспечивает автоматизированное решение следующих задач в сфере управления сложными системами: управление несколькими базами данных, которые представляют объекты управления; автоматическое исследование свойств чувствительности, как изменение рейтинга системы при изменении уровней значений параметров, а также графическое отображение показателей чувствительности; многокритериальный анализ и выбор управлений на основе МАИ и модификаций этого метода; автоматический отбор на основе мер Журавлева системы прототипов и экстраполяционное прогнозирование показателей и параметров для новых условий; управляемое обобщение, «сжатие» данных – их группирование в кластеры. Перечисленные задания могут использоваться для различных категорий систем представленных в база данных комплекса ИТРО.

Форма рейтинговой оценки объектов. В соответствии с [1] в ИТРО использована следующая модель рейтинговых оценок

$$R_j = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{X_{max\ i} - X_{ij}}{X_{max\ i} - X_{min\ i}} + \sum_{i=1}^{n_2} \frac{X_{ij} - X_{min\ i}}{X_{max\ i} - X_{min\ i}} \qquad (1)$$

X_{ij} – оценка i – го показателя для j – го объекта, n_1 – показатели, требующие повышения значений при рациональном управлении, n_2 – показатели, требующие понижения значений, $n = n_1 + n_2$.

Модели ресурсов в задачах планирования развития систем. При реализации задач оптимального распределения ресурсов в ИТРО использованы следующие линейные модели

$$W_j^{(k)} = \sum_{i \in I(k)} \Delta x_{ij}^{(k)} c_{ij}^{(k)} \le U_j^{(k)} \qquad (2)$$

k – категория ресурса j – го объекта анализа, участвующего в плане, $c_{ij}^{(k)}$ – удельные затраты ресурса $W_j^{(k)}$ –, отнесенные к изменениям X_{ij} на единицу, k= 1, 2, ..., m.

 ISSN 1562-9945

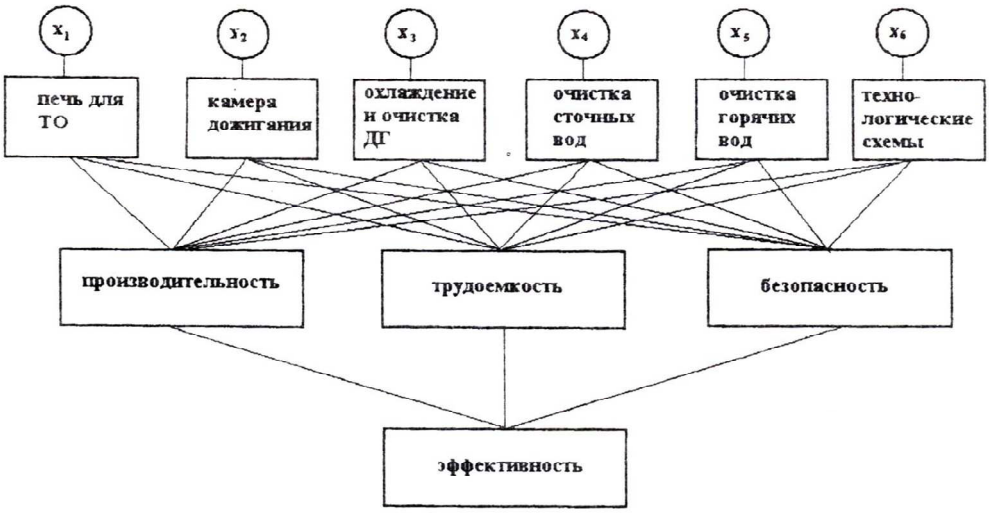


Рисунок 1 - Иерархическая структура системы обезвреживания отходов

Примером задачи сравнительного анализа и распределения ресусов, предусмотренной в ИТРО, является следующая. Считая известными запланированные значения некоторых заданных показателей для части (всех) объектов, необходимо оценить требуемые значения этих же показателей для конкретного объекта так, чтобы он получил общий рейтинг не менше заданного, а также определить уровни необходимых для этого ресурсов.

Автоматизация принятия решений для выбора управлений на основе метода анализа иерархий. В настоящее время МАИ [2] становится междисциплинарным направлением, принимает статус стандарта, обеспечивая многокритериальное управление сложными системами. В ИТРО реализована, как стандартная процедура МАИ, так и его сетевая многопользовательская версия, реализующая уточненную процедуру проверки согласованности данных. Такая модификация МАИ связана с сложными системами. В ИТРО реализована, как стандартная процедура МАИ, так и его сетевая многопользовательская версия, реализующая уточненную процедуру проверки согласованности данных. Такая модификация МАИ связана с тем, что, как показал численный эксперимент, согласованность для таблиц больших размеров в МАИ *никогда* не может быть достигнута. Это привело к необходимости введения не одной, а нескольких таблиц для расчетов показателей относительной согласованности, уточняющих процедуру МАИ. На рис. 1 приведен пример модели МАИ для многокритериального выбора технологического процесса.

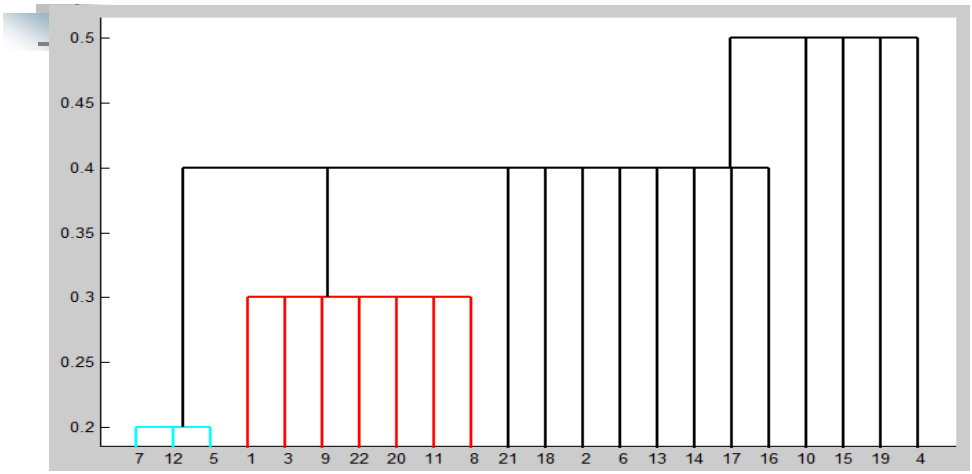


Рисунок 2 - Дендрограмма представления результатов кластеризации объектов

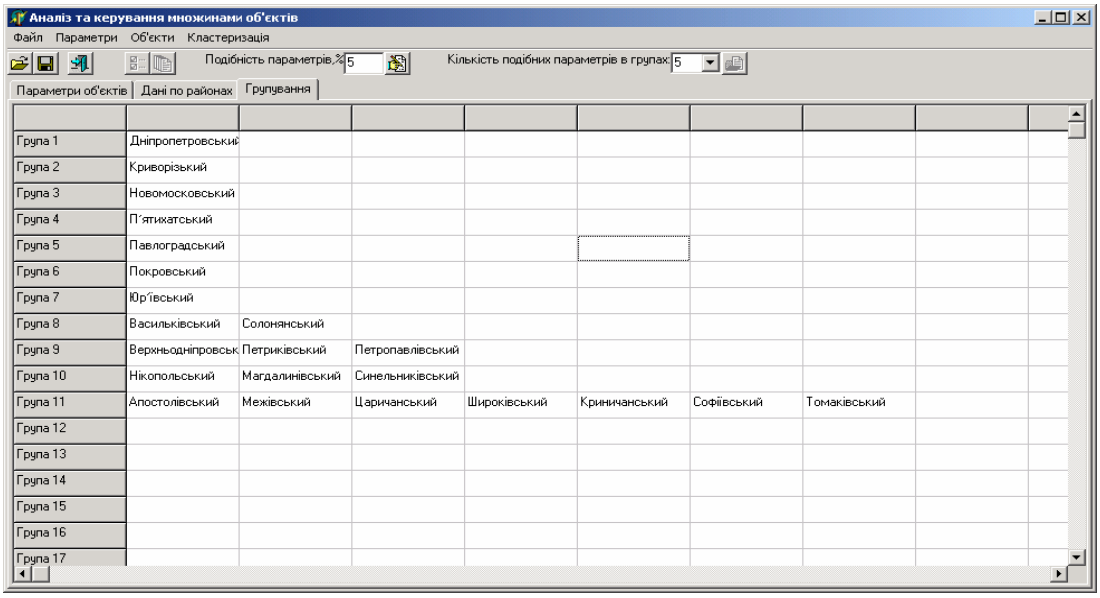


Рисунок 3 - Окно программы для определения групування объектов (число близких параметров – 5, сформировано груп – 11)

Задачи анализа и управления наборами подобных объектов. Для управления множествами объектов (персонал, территории, др.) в ИТРО применяются процедуры метода восходящей многоуровневой кластеризации [3]. При этом степень сходства («близости») значений показателей объектов определяется по мере Журавлева [3, 6]. Предлагается применение общей стратегии управления для элеменов группы (финансирование, распределение ресурсов, поощрение и др.). На рис. 3 приведен пример окна программы ИТРО с результатами кластеризации многопараметрических объектов.

Задачи прогнозирования параметров сложных систем на основе эталонов (многомерная линейная экстраполяция). В ИТРО реали-

 ISSN 1562-9945

зованы задачи автоматических расчетов прогнозных оценок результирующих показателей *нового варианта системы* с известными значени-ями части показателей и условий на основе использования нескольких известных вариантов – эталонов (прототипов). Для этого используется процедура линейной экстраполяции рис. 4 [4], где прототипы отбираются из базы данных автоматически, используя метрику Журавлева и данные об искомом варианте. На рис. 5 показана форма представления результатов экстраполяцинного прогноза.

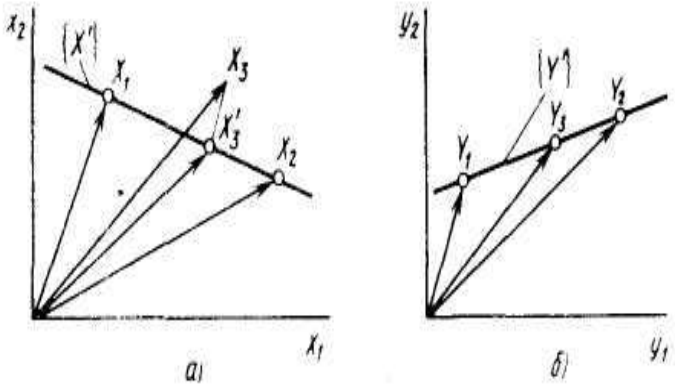


Рисунок 4 - Схема метода линейной экстраполяции (а) – пространство ситуаций; б) – простанство решений)

Выводы. В работе развит подход и создана информационная технология управления сложными системами, которые представляются наборами показателей различных категорий. Для сравнительной оценки качества управления применяется модель рейтинга. Реализованы процедуры типовых заданий управления сложными объектами (анализ чувствительности, кластеризация, диагностирование, прогнозирование, распределение ресурсов, многокритериальный выбор и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Постанова Кабінету Міністрів України № 838 «Про запровадження комплексної оцінки соціально-економічного розвитку Автономної Республіки Крим, областей, мм. Києва та Севастополя» від 20 червня 2007 р.
2. Саати Т., Кернес Е. Метод Анализа Иерархий.. – М:. Радио и связь, 1991. – 352с.
3. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2003. – 384с.
4. Растригин Л.А., Пономарев Ю.П. Экстраполяционные проектирования и управления. – М:, Машиностроение, 1986. – 120с.
5. Кренке Д. Теория и практика построения баз данных. – Москва – Санкт Петербург – Киев, Питер, 2003. - 799с.
6. Лысенко Ю.Г., Тимохина В.Н. и др. Проблемы управления экономическими системами, кн 1, кН.2. – Донецк: Юго-Восток, 2007. – 222с.

УДК 620.179

В.П. Малайчук, А.И. Федорович

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРКОВСКИХ ГАММА-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Аннотация. Предложены и исследованы алгоритмы моделирования нестационарных и стационарных выборок марковских случайных величин с гамма-законом распределения их плотности вероятности.

Ключевые слова: марковский процесс, гамма-последовательность, автокорреляция.

Постановка задачи. В задачах периодического неразрушающего контроля находящихся в эксплуатации линейно протяжных объектов измеряемые параметры, содержащие информацию о их состоянии, являются случайными величинами, статистические закономерности которых зависят от координат точек измерения. По своей физической природе эти параметры положительные, их законы распределения вероятностей несимметричны и марковские гауссовы последовательности не могут быть использованы в качестве их моделей. Рассмотрим разностное уравнение формирования марковских последовательностей

$$S(k) = \alpha S(k-1) + \beta U(k), \qquad (1)$$

где $U(k)$ - независимые случайные величины с экспоненциальным распределением, единичным математическим ожидание и единичной дисперсией (экспоненциальный белый шум).

Решение уравнения (1) известно и запишется в виде

$$S(k) = \beta \sum_{i=1}^{k} \alpha^{k-i} U(i), \qquad (2)$$

где β - энергетический параметр последовательности $S(k)$.

Здесь $S(k)$, как взвешенная сумма экспоненциальных случайных величин, описывается гамма-распределением. Исследуем статистические закономерности выборок $S(k)$, которые, как следует из (2), представляют собой дискретные марковские гамма-последовательности случайных величин. Их параметры зависят от

© Малайчук В.П., Федорович А.И., 2011

 ISSN 1562-9945

координат точек измерения. Исследование имеет своей целью определение этих зависимостей и статистический анализ марковских гамма-последоваетельностей по выборкам случайных величин генератора, программно реализованного в соответствии с разностным уравнением (1).

Исследование сдвига, масштаба и автокорреляции. Учитывая что математическое ожидание $M\left[U(k)\right]$ и дисперсия $D\left[U(k)\right]$ равны единицы, из (2) следует

$$M\left[S(k)\right] = \frac{\beta(1-\alpha^k)}{1-\alpha},\ D\left[S(k)\right] = \frac{\beta^2(1-\alpha^{2k})}{1-\alpha^2}. \tag{3}$$

Коэффициент автокорреляции двух соседних измерений $S(k)$ и $S(k-1)$ легко определяется и равен

$$r(k) = \alpha\sqrt{\frac{1-\alpha^{2(k-1)}}{1-\alpha^{2k}}},\ k \geq 2. \tag{4}$$

Как следует из анализа выражений (3) и (4), марковский дискретный гамма-процесс – это последовательность коррелированных случайных величин с нелинейными трендами математических ожиданий, дисперсий и коэффициентов автокорреляции. При больших значениях k $(k \to \infty)$ процесс почти стационарный. Это марковская гамма-последовательность с математическим ожиданием, дисперсией и коэффициентом корреляции

$$M\left[S\right] = \frac{\beta}{1-\alpha},\ D\left[S\right] = \frac{\beta^2}{1-\alpha^2},\ r = \alpha. \tag{5}$$

Границу между нестационарным и стационарным участками последовательности можно оценить, решив неравенство

$$\frac{M - M(k)}{M} = \sqrt{\frac{D - D(k)}{D}} = \alpha^k \leq 10^{-2}. \tag{6}$$

В результате получим условие стационарности: если выполняется неравенство

$$k \geq \frac{2}{\lg\left(\frac{1}{\alpha}\right)} = \frac{2}{1-\lg\left(10\alpha\right)} = k_c, \tag{7}$$

то значения $S(k)$ при $k \geq k_c$ представляют собой стационарную гамма-последовательность Маркова.

Графики изменений сдвига $M[k]$, масштаба $D[k]$, коэффициента корреляции $r[k]$ представлены на рисунках 1 и 2. И граничного значения стационарности $k_c(\alpha)$ - на рисунке 3.

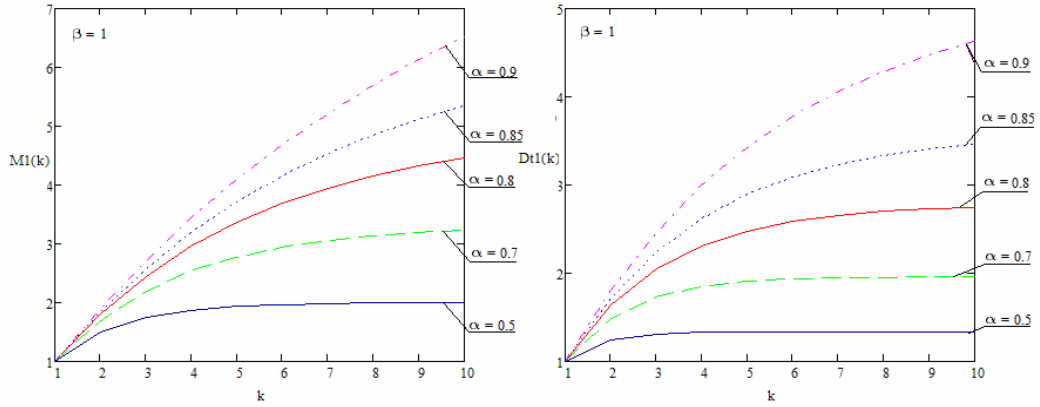


Рисунок 1 - Графики зависимости математического ожидания и дисперсии нестационарной гамма-последовательности Маркова от значений параметра α

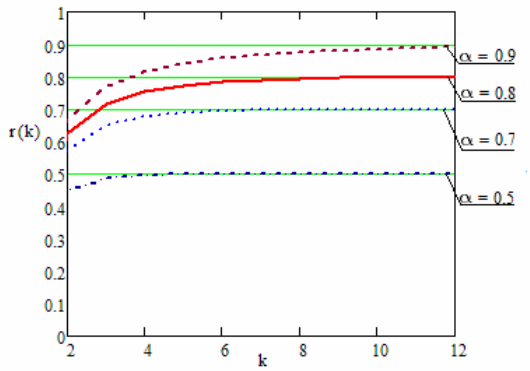


Рисунок 2 – Графики зависимости коэффициента автокорреляции нестационарной гамма-последовательности

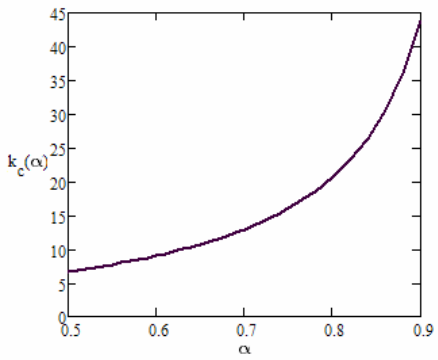


Рисунок 3 – Зависимость граничного значения коэффициента стационарности от α

Разностное уравнение (1) описывает нестационарную последовательность, у которой изменяются как показатель сдвига $M[k]$, так и показатель масштаба $D[k]$. Чтобы моделировать однопараметрические гамма-последовательности, или когда только постоянна дисперсия, или постоянно только математическое ожидание, или постоянна мощность необходимо выбирать коэффициент β следующим образом:

1) при постоянной дисперсии $D[k] = D$

$$\beta(k) = \sqrt{\frac{D(1-\alpha^2)}{1-\alpha^{2k}}}, \qquad M[S(k)] = \sqrt{\frac{D(1+\alpha)(1-\alpha^k)}{(1-\alpha)(1+\alpha^k)}}, \qquad (8)$$

 ISSN 1562-9945

2) при постоянном математическом ожидании $M[k] = M$

$$\beta(k) = \frac{M(1-\alpha)}{1-\alpha^k}, \qquad D[S(k)] = \frac{M^2(1-\alpha)(1+\alpha^k)}{(1+\alpha)(1-\alpha^k)}, \tag{9}$$

3) при постоянной мощности P

$$\beta^2(k) = \frac{P(1-\alpha)(1-\alpha^2)}{2\left(1-\alpha^k\right)(1-\alpha^{k+1})}, \tag{10}$$

$$M[S(k)] = \sqrt{\frac{P(1+\alpha)(1-\alpha^k)}{2(1-\alpha^{k+1})}}, \; D[S(k)] = \frac{P(1-\alpha)(1+\alpha^k)}{2(1-\alpha^{k+1})} \tag{11}$$

Таким образом, путем выбора коэффициентов β и $\beta(k)$ в соответствии с (8), (9) или (10), разностное уравнение (1) можно использовать для моделирования дискретных двухпараметрических или однопараметрических нестационарных и стационарных автокоррелированных гамма-последовательностей.

Ожидается, что одномерный закон распределения вероятности $W(S_k)$ в последовательности $S_1, S_2, \ldots, S_k, \ldots, S_n$ - это гамма-распределения с параметрами γ_k и λ_k, зависящее от α, β и номера последовательности

$$W(S_k) = \frac{S_k^{\gamma_k - 1}}{\lambda_k^{\gamma_k}\Gamma(\gamma_k)} \exp\left(-\frac{S_k}{\lambda_k}\right), \tag{12}$$

$$\lambda_k = \frac{\beta(1+\alpha^k)}{1+\alpha}, \; \gamma_k = \frac{(1+\alpha)(1-\alpha^k)}{(1-\alpha)(1+\alpha^k)}.$$

На стационарных участках параметры гамма-последовательности равны

$$\lambda = \frac{\beta}{1+\alpha}, \; \gamma = \frac{1+\alpha}{1-\alpha}.$$

Вычислительные эксперименты. Используя генератор экспоненциальных случайных величин с параметром $\lambda = 1$ и разностное уравнение (1), моделировались выборки $S(1), S(2), \ldots, S(k), \ldots, S(n)$, проводился их статистический анализ, оценивались параметры и законы распределения вероятностей.

На рис. 3 представлены фрагменты нестационарной и стационарной гамма-последовательности. Математическое ожидание и дисперсия стационарного участка равны $MO = 5$, $D = 2{,}778$ соответственно.

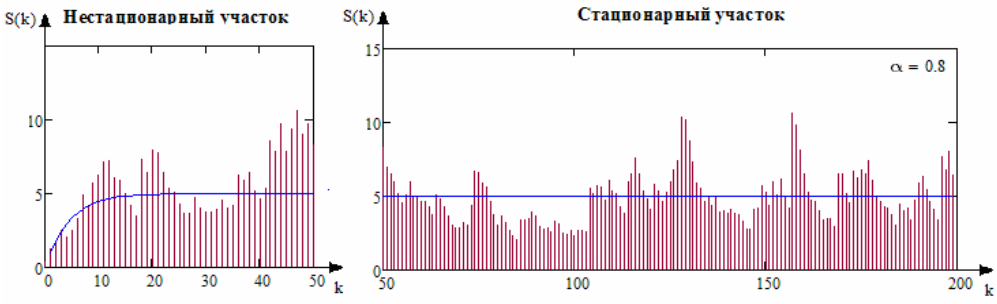


Рисунок 4 – Пример марковской гамма-посделовательности

$(MO^* = 4,89,\ D^* = 2,598)$

Так же моделировались однопараметрические гамма-последовательности, параметры которых описаны формулами (8), (9), (10), (11). На рисунке 4 представлены фрагменты однопараметрических марковских гамма-последовательностей: а) последовательность при постоянном математическом ожидании ($MO = 4$); б) – при постоянной дисперсии ($D = 2$); в)– при постоянной мощности ($P = 18$). Коэффициент α во всех трех случаях одинаковый и равен $\alpha = 0.8$.

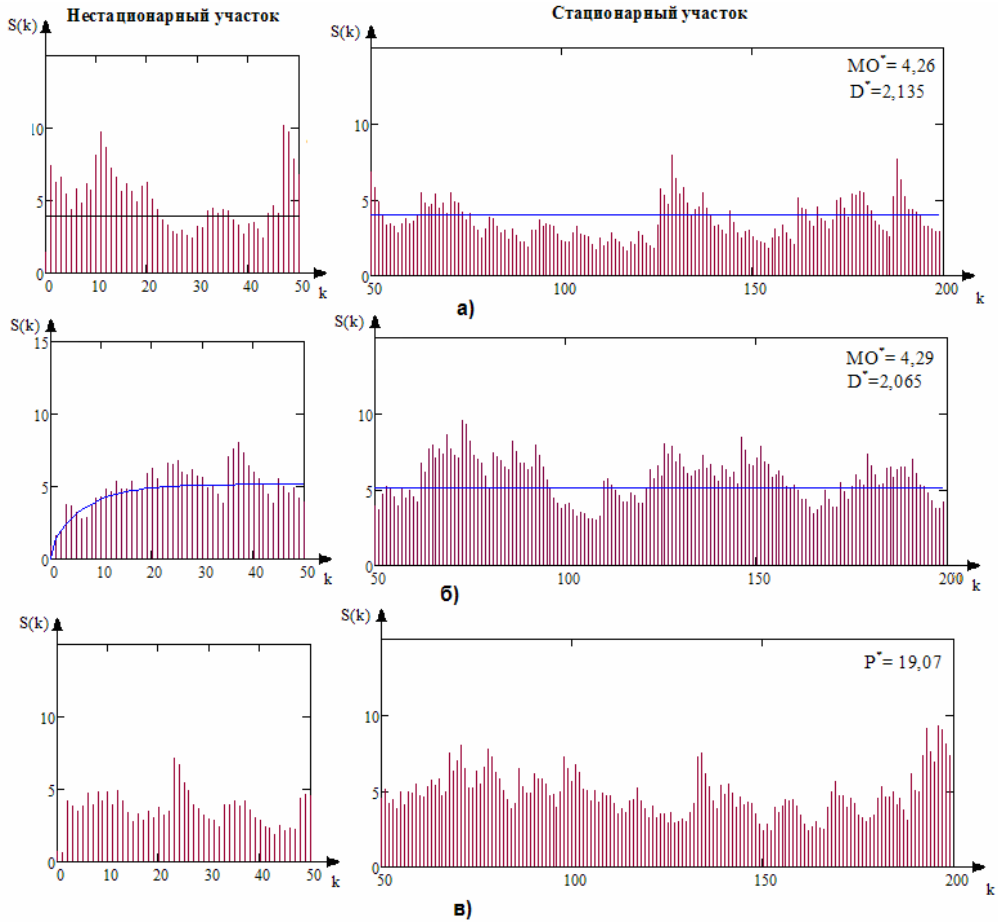


Рисунок 5 – Однопараметрические марковские гамма-посделовательности (фрагменты выборок) (MO^*, D^*, P^* - оценки математического ожидания, дисперсии и мощности)

 ISSN 1562-9945

Выводы

1. Предложена математическая модель формирование нестационарных и стационарных дискретных марковских гамма-последовательностей случаных величин с помощью линейного цифрового фильтра, возбуждающего последовательностью независимых случайных величин с экспоненциальным законом распределения вероятностей.

2. Получены аналитические выражения для определения математического ожидания, дисперсии, коэффициента корреляции по заданным параметрам формирующих фильтров на нестационарном и стационарном участках двух параметрических и однопараметрических гамма-последовательностях.

3. Программно реализована компьютерная модель генератора марковских гамма-последовательностей и проведен статистический анализ выборок случайных величин; их оценки подтверждают работоспособность предложенного алгоритма формирования марковских гамма-последовательностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика/ А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2006. – 816 с.
2. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Математическая дефектоскопия: Монография.–Днепропетровск:Системные технологии, 2005,-180 с.

УДК 621.452.3.002.3:621.9.048

В.С. Кривцов, В.Н. Павленко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. Изучено влияние метода высокоэнергетической импульсной обработки на сопротивление усталости титановых сплавов. Установлены значения коэффициентов упрочнения образцов, зависящие от структуры образца, определяемой предварительной термообработкой, и методом высокоэнергетической импульсной обработки.

Современное авиадвигателестроение уделяет большое внимание вопросам повышения надежности, экономичности и ресурса выпускаемой продукции. Их решение требует разработки и применения технологий, способных обеспечитть высокую надежность, стабильность и повышенные эксплуатационные характеристики деталей авиационных двигателей.

Многие рабочие параметры изделия в основном определяются состоянием поверхностного слоя материала, которое характеризуется в первую очередь напряженным состоянием, интенсивностью, характером распределения и знаком остаточных напряжений, глубиной дефектного слоя, шероховатостью поверхности, наличием потенциальных зародышей трещин, структурой материала и многими другими факторами.

Практика эксплуатации двигателей показывает, что преждевременное разрушение лопаток компрессора и турбины обычно происходит из-за их усталости. Сопротивление усталости силовых деталей двигателя можно повысить металургическими, конструктивными, технологическими и эксплуатационными методами, причем технологические методы являются наиболее эффективными.

В этой связи особого внимания со стороны производителей авиационных двигателей заслуживают экономически приемлемые и эффективные методы упрочнения изделий, способные обеспечить повышенные прочностные характеристики высоконагруженных дета-

© Кривцов В.С., Павленко В.Н., 2011

 ISSN 1562-9945

лей, к которым в первую очередь относятся лопатки компрессора и турбины. Одной из таких технологий является технология высокоэнергетического электроимпульсного упрочнения (ВЭИО), поскольку она способна совместно с другими, традиционно применяемыми методами упрочнения, существенно повысить эксплуатационные свойства [1].

Целью данной работы является изучение влияния метода высокоэнергетической импульсной обработки на сопротивление усталости титановых сплавов.

Для достижения поставленной цели в работе проведены экспериментальные исследования процесса высокоэнергетического электроимпульсного упрочнения на сопротивление усталости титановых сплавов подвергнутых предварительному упрочнению традиционными методами.

В качестве материала образцов был выбран титановый сплав ВТ 8. Для исследования использовались цилиндрические образцы корсетной формы диаметром рабочей части 8,5 мм, изготовленные из прутка и крупногабаритной поковки. Заготовки образцов подвергались термообработке по трем режимам, что обеспечивало трем партиям образцов различную структуру и механические свойства. Режимы термообработки и структура образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы термообработки и структура образцов

Партия I	
Термообработка	920°С – 1 час →650°С-2 часа→воздух
Структура	Пруток. Мелкозернистая, равноосная. Поковка. Смешанная, состоящая из глобулярнопластинчатой формы частиц α - фазы и пластинчатая тонкотолченая корзиночного плетения.
Партия II	
Термообработка	960°С – 1 час→воздух+870°С-1 час→650°С
Структура	Пруток. Смешанная, состоящая из чередующихся участков беззеренной структуры с глобулярнопластинчатой α- фазой и зернистой с пластинчатым внутризеренным строением. Поковка. Пластичатая с едва заметными местами прерывистыми границами β- зерен.
Партия III	
Термообработка	1050°С – 1 час→воздух+870°С-1 час→650°С -2 часа →воздух
Структура	Пруток. Грубая пластинчатая структура с большим размером первичного β- зерна. Поковка. Зернистая с тонкотолченым внутренним строением и большими участками коагулированной α- фазы.

Образцы из партий I, II и III, часть из которых обрабатывалась шлифованием (неупрочненные образцы), а другая часть после шлифования упрочнялась виброобработкой, впоследствии подвергались ВЭИО.

Все заготовки, подвергаемые ВЭИО, разделены на три группы, каждая из которых обрабатывалась в соответствии с режимами, указанными в табл. 2 [1]. Таким образом, для режима 1 – выбран нижний, для режима 2 – средний, для режима 3 – верхний уровень удельной энергии. В эксперименте принята величина энергии, подводимая к образцу за один период тока, равная $Q_{пер} = 420 Дж$. Подводимая к образцу полная энергия регулировалась количеством импульсов тока, проходящего через образец.

Таблица 2

Уровни варьирования удельной энергии при ВЭИО образцов

№ режима	$q_ц, Дж/мм^3$	$q_ц / q_{пл}$
1	0,402	0,115
2	0,843	0,241
3	1,005	0,287

После испытаний на усталость из образцов вырезались микрошлифы для анализа напряженного состояния поверхностного слоя. Исследования проводились только для тех образцов, которые обладали наилучшими характеристиками длительной прочности.

Для исследования остаточных напряжений был применен рентгеноструктурный метод при помощи рентгеноскопа «ДРОН-2».

Кривые усталости, построенные на основании испытаний, представлены на рис. 1, 2.

 ISSN 1562-9945

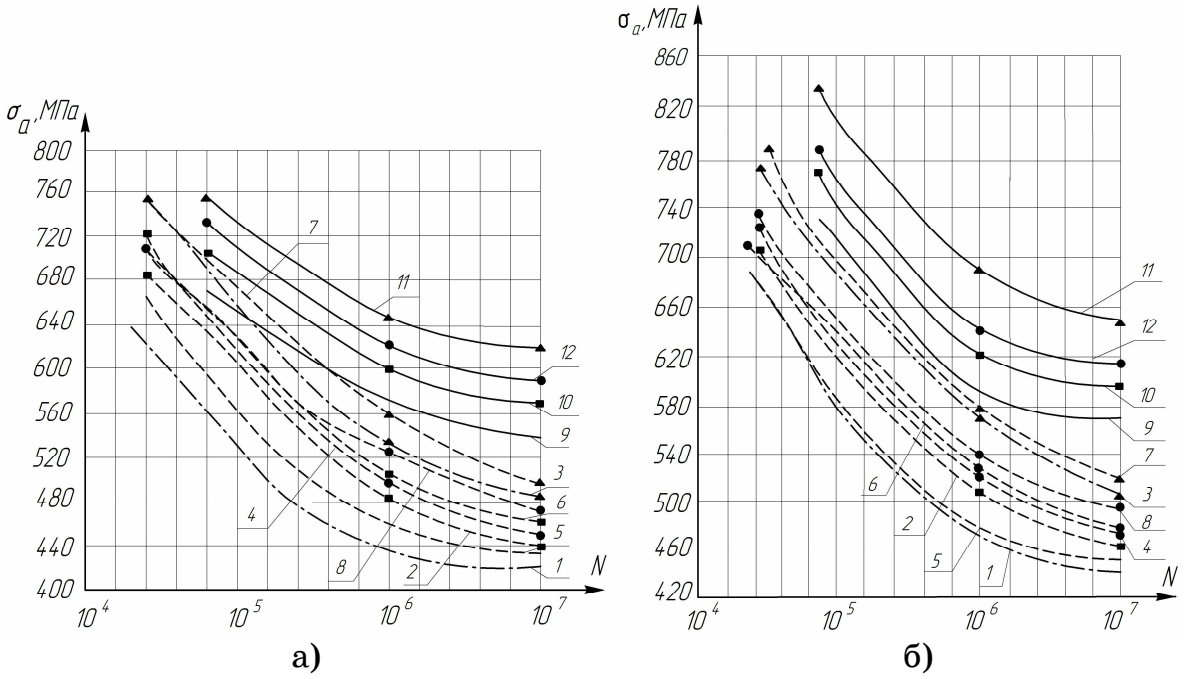


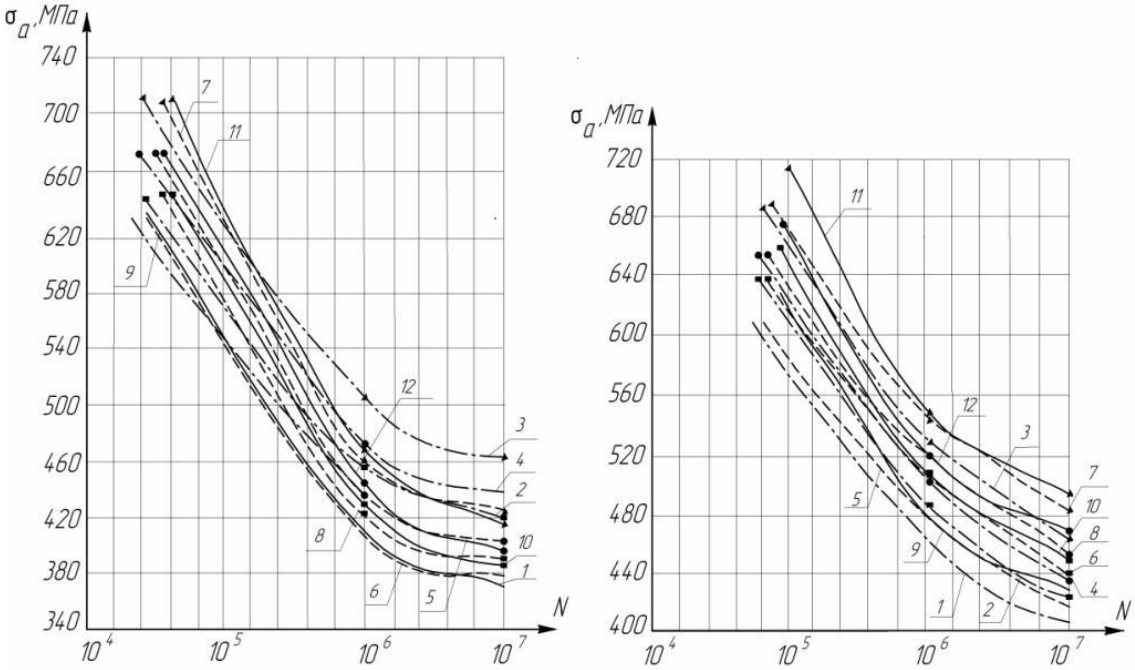
Рисунок 1 - Кривые усталости образцов из сплава ВТ8, изготовленных из прутка: а) без упрочнения до и после ВЭИО; б) упрочненные до и после ВЭИО 1- партия I; 2- партия I, режим 1; 3 - партия I, режим 2; 4 - партия I, режим 3; 1- партия II; 2- партия II, режим 1; 3 - партия II, режим 2; 4 - партия II, режим 3; 1- партия III; 2- партия III, режим 1; 3 - партия III, режим 2; 4 - партия III, режим 3

Из рисунков 1 и 2 видно, что метод высокоэнергетического электроимпульсного упрочнения может быть эффективным средством повышения прочностных характеристик материалов, в частности, предела выносливости титановых сплавов.

Следует отметить, что для различной структуры материалов эффективность такого упрочнения существенно меняется. Наибольший эффект достигается для образцов с мелкозернистой структурой, изготовленных из поковки (партия I) и для образцов с пластинчатой структурой (партия III), изготовленных из прутка. Помимо этого, очевидна тенденция максимального упрочнения всех типов образцов на режиме 2, указанном в таблице 2, соответствующем среднему уровню варьирования в эксперименте.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования дают основания для выявления наиболее эффективного комплекса технологических мероприятий по повышению длительной прочности исследуемых материалов. Для этого целесообразно использовать безразмерный параметр, определяющий степень упрочнения материала

после обработки по сравнению с некоторым исходным состоянием, за которое в свою очередь удобнее всего принять предел выносливости неупрочненного образца, т.е. коэффициент упрочнения $К_у$.



а) б)

Рисуенок 2 - Кривые усталости образцов из сплава ВТ8, изготовленных из поковки: а) без упрочнения до и после ВЭИО; б) упрочненные до и после ВЭИО 1- партия I; 2- партия I, режим 1; 3 - партия I, режим 2; 4 - партия I, режим 3; 1- партия II; 2- партия II, режим 1; 3 - партия II, режим 2; 4 - партия II, режим 3; 1- партия III; 2- партия III, режим 1; 3 - партия III, режим 2; 4 - партия III, режим 3

В данном случае за исходное состояние ($К_у$ =1) принят образец из той партии, который обладает наименьшим значением предела длительной прочности.

Результаты статистического анализа экспериментальных данных, полученных при испытании образцов из поковок показали, что наименьшее значение предела длительной прочности имеет неупрочненный образец из поковки, принадлежащий партии II.

Значения остальных коэффициентов упрочнения образцов, зависящих от структуры образца, определяемой предварительной термообработкой, и метода упрочнения (виброупрочнение, ВЭИО) сведены в таблицу 3.

 ISSN 1562-9945

Таблица 3

Значения коэффициентов упрочнения образцов после различной термической обработки, виброупрочнения и ВЭИО на базе 10^7 циклов

ПРУТКИ						
Режимы обработки	Без упрочнения			Упрочненные		
	Партия I	Партия II	Партия III	Партия I	Партия II	Партия III
Без ВЭИО	1,447	1,131	1,157	1,502	1,202	1,15
ВЭИО, режим 1	1,519	1,188	1,2157	1,577	1,262	1,207
ВЭИО, режим 2	1,65	1,29	1,32	1,713	1,371	1,311
ВЭИО, режим 3	1,563	1,222	1,250	1,622	1,298	1,242
ПОКОВКА						
Режимы обработки	Без упрочнения			Упрочненные		
	Партия I	Партия II	Партия III	Партия I	Партия II	Партия III
Без ВЭИО	1,026	1	1,065	1,118	1,1	1,055
ВЭИО, режим 1	1,077	1,05	1,119	1,174	1,155	1,108
ВЭИО, режим 2	1,17	1,135	1,215	1,275	1,254	1,203
ВЭИО, режим 3	1,108	1,082	1,151	1,207	1,188	1,139

Анализируя экспериментальные данные можно выбрать наиболее оптимальные сочетания технологических методов упрочнения титанового сплава как для образца из прутка, так и для поковки. Максимальный коэффициент упрочнения образцов наблюдается на режиме 2 ВЭИО.

Выводы. Комбинация метода высокоэнергетической импульсной обработки и виброупрочнения, способны дать эффект повышения предела выносливости сплава до 25 % по сравнению с неупрочненным образцом.

Экспериментальные исследования дают основания для выявления наиболее эффективного комплекса технологических мероприятий по повышению длительной прочности исследуемых материалов.

Исследования подтвердили гипотезу о том, что удельная энергия, необходимая для повышения предела выносливости детали находится в пределах 20% удельной энергии, необходимой для пластификации того же объема материала.

Установлены значения коэффициентов упрочнения образцов, зависящих от структуры образца, определяемой предварительной термообработкой, и методом высокоэнергетической импульсной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуслаев В.А., Долматов А.И., Жеманюк П.Д., Ткаченко В.В., Волков И.В., Повышение ресурса ГТД из титановых сплавов. – Запорожье, 2000. – 110 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Плахотник В.Ю.
Сравнение томографических свойств двумерных кодированных апертур.....3
Минеев А.С.
К оценке оптимальных параметров вибрационного воздействия на геоматериалы.....9
Бейгул О.А., Жерначук В.Д., Лепетова А.Л.
Новая технология изготовления слиткозахватных кернов клещевых16
колодцевых кранов.....16
Мороз Н.Г.
Моделирование работы электронного тракта цифровых гамма-камер и томографов.....21
Бейгул О.О., Лепетова Г.Л., Білоус О.І., Ільченко М.Г.
Визначення показників надійності роботи міжцехових стрічкових конвеєрів.....26
Ахметшина Л.Г., Егоров А.А.
Повышение достоверности бинаризации снимков отпечатков поверхности покрытий на металлической подложке на основе адаптивной модификации яркости и контраста.....32
Клименко С.В., Огоренко В.В.
Оценка объективности результатов компьютерного психометрического тестирования.....44
Перерва В.А., Карпович Е.В.
Математические модели дуги при сварке неплавящимся электродом51
Товт Б.М.
Оптимізація несучої конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1.....59
Кошулян А.В., Малайчук В.П.
Контроль качества изделий с заданным интервалом допуска по модифицированному критерию Неймана-Пирсона.....72
Дорош И.А., Тарасов С.В., Снегирев М.Г.
Разработка алгоритма и программного средства для расчета параметров магнитного поля магнитного подвеса энергетической установки.....84
Хитько А.Ю., Шапран Л.А., Хрычиков В.Е., Иванова Л.Х., Лазуренко С.В.
Системный подход к совершенствованию технологии изготовления бандажированных роликов МНЛЗ.....91
Корсун В.И., Квятковский А.Е., Глухова Н.В.
Анализ применения цифровых фильтров для обработки результатов урофлоуметрии.....98

 ISSN 1562-9945

Жевжик А.В., Горячкин В.Н., Потапчук И.Ю.
Исследование движения частиц аэросмеси в улитке пылеугольной горелки 109
Сулім-Тимовті А.О., Должанський А.М.
Системне врахування показників якості при плануванні діяльності проектно-орієнтованої організації 117
Шемет А.О.
Аналіз паралельного алгоритму блочного резервного копіювання ..125
Демура А.Л.
Електромагнітні і теплофізичні явища при отвердінні полімерних композиційних матеріалів під впливом надвисокочастотних полів .133
Григоренко В.У., Маркевич И.В., Пилипенко С.В.
Експериментальні дослідження осьових сил при холодній роликовій прокатці 140
Гавриленко Є.А.
Визначення положення центрів кривини дискретно представленої кривої 145
Камкина Л.В., Мешалкин А.П., Колбин Н.А., Пшигоцкий С.В., Стовба Я.В.
Физическое моделирование комбинированной продувки ванны подовых сталеплавильных агрегатов 152
Ступнік М.І.
Застосування системного підходу до закладних робіт з метою зменшення текучості обводнених глинистих порід 158
Кирия Г.Ш., Иванова Л.Х., Шляпин И.В., Муха Д.В.
Исследование воздействия на затвердевающий расплав с целью улучшения структуры и свойств чугуна 164
Адаменко Л.А., Зимокос Г.Н., Иванова Л.Х., Бура Ю.Н.
Применение системного подхода к совершенствованию высокомарганцевой стали в отливках броней конусных дробилок ..168
Іванова Л.Х., Маймур Я.С., Калашникова А.Ю., Захарова Т.В.
Застосування системного підходу для підвищення службових властивостей чавунних виливків 173
Скалозуб В.В., Андрющенко В.А., Разумов С.Ю., Скалозуб М.В., Фокша К.С., Швец О.М.
Информационная технология диагностики, прогнозировния и управления устойчивым развитием сложных систем на основе рейтинговых оценок 178
Малайчук В.П., Федорович А.И.
Математическое моделирование марковских гамма-последовательностей 186
Кривцов В.С., Павленко В.Н.
Исследование влияния высокоэнергетической электроимпульсной обработки на сопротивление усталости титановых сплавов 192

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.039.555

Плахотник В.Ю. **Порівняння томографічних властивостей двовимірних кодованих апертур** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.3 - 8.

В роботі досліджені томографічні можливості систем візуалізації гамма-випромінювання з двовимірними кодованими апертурами. Методами математичного моделювання досліджено вплив дефокусировки системи на якість одержуваних зображень. Проведено порівняння томографічних властивостей кодувальних масок на базі однорідно надмірних, модифікованих однорідно надмірних масивів та циклічного коду Хеммінга. Встановлено, що томографічні властивості систем візуалізації не залежать від типу кодувальної послідовності.

Бібл. 7, іл. 2.

УДК 622.64-531.6:65.011.56

Минеев А.С. **До оцінки оптимальних параметрів вібраційної дії на геоматеріали** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.9 - 15.

В роботі виконана оцінка оптимальних параметрів вібраційної дії на пружні і непружні геоматеріали, при яких в середовищі досягається максимум амплітуди напруги. В разі непружних матеріалів для оптимізації запропонований інформативний параметр, що характеризує міру передачі віброенергії по середовищу.

Аналіз досліджень дозволив рекомендувати для ефективного розспушення змерзлого геоматеріала використання режиму багато частотного выбровпливу.

Бібл. 5.

УДК 621.86.061(088.8)

Бейгул О.О., Жерначук В.Д., Лепетова Г.Л. **Нова технологія виготовлення зливкозахватних кернів кліщових колодязних кранів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.16 - 20.

Розроблена технологія виготовлення зливкозахватних кернів з вуглецевистої сталі шляхом легирування їх робочих поверхонь порошковим матеріалом у ливарній формі.

Бібл. 5, іл. 2.

УДК 621-31

Мороз М.Г. **Моделювання роботи електронного тракту цифрових гамма-камер та томографів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.21 - 25.

У роботі надана модель електроного тракту цифрової гамма-камери. Виконано моделювання їго роботи за дапомогою прогрмного симулятора Spice. Нада модель може бути викорестона для будь якої кількості фотоприймачів та їх типів.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 621.867.2.192

Бейгул О.А., Лепетова А.Л., Белоус Е.И., Ильченко Н.Г. **Определение показателей надежности работы межцеховых конвейеров** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.26 - 31.

Разработана методика определения показателей надежности межцеховых ленточных конвейеров на металлургических предприятиях.

Библ. 3, илл. 4.

 ISSN 1562-9945

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Єгоров А.О. **Підвищення чутливості достовірності відбитків поверхні покриття на металевій підкладці на основі адаптивної модифікації яскравості та контрасту** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.32 - 43.

Розглянуто модель підсилення яскравості та контрасту, завдяки застосуванню якої було досягнуто підвищення достовірності бінаризації RGB зображень, що містять відбитки поверхні покриття на металевій підкладці, з метою подальшого визначення їх пористості.

Бібл. 4, іл. 5.

УДК 629.735.015.017.2

Клименко С.В., Огоренко В.В. **Оцінка об'єктивності результатів комп'ютерного психометричного тестування особистості** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.44 - 50.

Результати психометричного тестування особистості залежать від її відношення до такого методу дослідження психіки. Запропоновано об'єктивний метод оцінки відношення людини до комп'ютерного тестування шляхом обробки результатів психометричних вимірів: 1) оцінки статистичного зв'язку, між кількістю інформації в стимулах-питаннях (завданнях) і часом їх осмислення; 2) аналізу флуктуацій часу та швидкості обробки стимулів у процесі тестування.

Бібл.3, табл. 2

УДК 541.138.2

Перерва В.А., Карпович Е.В. **Математичні моделі дуги при зварюванні неплавким електродом** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.51 - 58.

Проведений теоретичний аналіз математичних моделей для способу зварювання неплавким електродом. Встановлено, що для побудови моделі процесу зварювання порожнім катодом необхідно враховувати катодні і анодні явища в стовпі дуги. Показана можливість визначення параметрів густини струму на аноді і оптимальних умов ведення процесу зварювання.

Библ.7.

УДК 625.141.2.001.26

Товт Б.М. **Оптимізація несучої конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.59 - 71.

В статье приведены результаты оптимизации несущей конструкции рельсосварочной путевой машины КРС-1. Обоснована необходимость проведения оптимизации конструкции исследуемой машины, выполнена постановка задачи оптимизации, разработана упрощённая конечно-элементная модель несущей конструкции путевой машины. На основе результатов аналитического исследования напряжённо-деформированного состояния (НДС) выполнена оценка прочности оптимальной несущей конструкции рельсосварочной путевой машины КРС-1.

Библ.6.

УДК 519.24:681

Кошулян О.В., Малайчук В.П. **Контроль якості виробів із заданим інтервалом допуску за модифікованим критерієм Неймана-Пірсона** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.72 - 83.

Розглядається задача оптимального вибору порогів контролю для оцінки якості партії однотипних виробів за параметром, який за своєю фізичною природою є випадко-

вою величиною, вимірюється з похибками та не повинен виходити за границю інтервалу допуску. Запропоновано метод вибору порогів контролю за модифікованим критерієм Неймана-Пірсона, що мінімізує умовну ймовірність перебраковки, при обмеженні, що умовна ймовірність пропуску браку не повинна перевищувати критичну величину, що задається.

Бібл. 5, іл. 1, табл.0.

УДК 004.021

Дорош И.А., Тарасов С.В., Снегирев М.Г. **Разработка алгоритма и программного средства для расчета параметров магнитного поля магнитного подвеса энергетической установки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.84 - 90.

Работа посвящена разработке алгоритма и созданию программного средства для расчета параметров магнитного поля в системе подвеса ротора для вертикально-осевой ветроэлектрической установки с Н-ротором Дарье.

Библ.2.

УДК 621.74.002.6:669.131.7

Хитько А.Ю., Шапран Л.А., Хрычиков В.Е., Иванова Л.Х., Лазуренко С.В. **Системный подход к совершенствованию технологии изготовления бандажированных роликов МНЛЗ** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.91 - 97.

В работе представлены и проанализированы результаты промышленных экспериментов, посвященные анализу стойкости бандажированных роликов в МНЛЗ, что позволяет усовершенствовать технологию их изготовления.

Библ.1.

УДК 621.391.26: 616-07

Корсун В.І., Квятковський А.Є., Глухова Н.В. **Аналіз застосування цифрових фільтрів для обробки результатів урофлоуметрія** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.98 - 108.

Розглядаються питання цифрової фільтрації даних, отриманих при медичних дослідженнях з метою діагностики порушень уродинаміки. Наведені результати автоматизованої класифікації урофлоуметричних кривих з експериментальним підтвердженням її достовірності.

Бібл. 5.

УДК 622.648.6+532.51.012

Жевжик О.В., Горячкін В.М., Потапчук І.Ю. **Дослідження руху частинок аеросмесі в завитку пиловугільного пальника** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.109 - 116.

На основі складеної математичної моделі визначено траєкторії руху частинок вугілля в завитку М-5452, який використовується для подачі та попередньої закрутки пиловугільного палива в пальнику на котлах ТПП-110. В результаті проведених розрахунків з використанням розподілу часток за розмірами визначена частка частинок, що сепаруються на стінки завитку, а також зона, в якій сепарація відбувається найбільш інтенсивно. Для підвищення ефективності спалювання вугільного пилу рекомендовано здійснювати відбір частинок з пристінній зоні з подальшою їх подачею в центральну частину пальника.

Бібл. 11.

УДК 06.051:06.046.2

Сулим-Тимовти А.А., Должанский А.М. **Системный учет показателей качества при планировании деятельности проектно-ориентированной организации** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.117 - 124.

На основе сопоставления фактических и нормативных трудозатрат при выполнении проектов проектно-ориентированными организациями, с учетом интегрального показателя уровня развития их внутренней среды, количественного состава команд проекта, риска неполноты указанной оценки и использованием методов нечетких множеств, факторного анализа, а также проведения виртуального эксперимента, разработан алгоритм системного планирования ресурсов для осуществления деятельности соответствующих фирм. Определена аналитическая зависимость составляющих интегрального показателя уровня развития внутренней среды проектно-ориентированных организаций от существенных влияющих факторов. Это позволяет оптимизировать качество и количественный состав команды проекта в организации.

Библ.8.

УДК 004.632:004.75

Шемет А.О. **Анализ параллельного алгоритма блочный резервного копирования** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.125 - 132.

В данной статье приведен алгоритм блочного резервного копирования данных. Выполнена декомпозиция задачи резервного копирования с использованием параллельных систем. Проанализированы параллельный алгоритм, приведены ярусно-параллельный и информационный графы. Рассчитано минимальное количество процессоров, необходимых для выполнения алгоритма.

Библ.8.

УДК 621.365:621.315.61

Демура А.Л. **Электромагнитные и теплофизические явления при отвердждении полимерных композиционных материалов под влиянием сверхвысокочастотных полей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.133 - 139.

Представлены результаты исследования электромагнитных и теплофизических явлений, которые имеют место при отверждении стеклопластиков под влиянием электромагнитного поля сверхвысоких частот.

В результате исследований составлены две программы для построения графиков зависимости поглощённой нормированной мощности от толщины диэлектрика и распределения нормированной амплитуды электромагнитного поля в нём.

Библ.7.

УДК 621.774.35.016.3

Григоренко В.У., Маркевич И.В., Пилипенко С.В. **Экспериментальные исследования осевых сил при холодной роликовый прокатке** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.140 - 144.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния настройки рычажной системы стана ХПТР на осевые силы, которые возникают в процессе прокатки труб. Представлены предложения для минимизации осевых сил и даны их обоснования.

Библ.5.

УДК 515.2

Гавриленко Є.А. **Визначення положення центрів кривини дискретно представленої кривої** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.145 - 151.

Визначається область можливого розташування центрів кривини, які відповідають вихідним вузлам дискретно представленої кривої з монотонною зміною кривини.

Бібл. 3, іл. 3.

УДК 669. 183. 012.

Камкіна Л.В., Мішалкін А.П., Колбін М.О., Пшигоцький С.В., Стовба Я.В. **Фізичне моделювання комбінованої продувки ванни подових сталеплавильних агрегатів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.152 - 157.

Уточнені особливості взаємодії дуття з металевою ванною при різноманітних способах підводу і розміщення продувних пристроїв. Визначено їх вплив на основні показники процесу.

Бібл. 6, іл.1.

УДК 622.272:622.257.1

Ступнік М.І. **Застосування системного підходу до закладних робіт з метою зменшення текучості обводнених глинистих порід** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.158 - 163.

Запропоновано технології погашення текучості глинистих порід кусковими матеріалами при існуючих воронках обвалення. Визначено необхідний об'єм кускових порід з урахуванням пористості кускового матеріалу та середньозваженого діаметру кусків кристалічних порід у виробленому просторі.

Бібл. 12.

УДК 621.785:681.785.369:681.785.789

Кирия Г.Ш., Иванова Л.Х., Шляпин И.В., Муха Д.В. **Исследование воздействия на затвердевающий расплав с целью улучшения структуры и свойств чугуна** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.164 - 167.

Установлено существенное влияние энергоинформационного воздействия на количественные показатели структуры исследуемого чугуна и микротвердость цементита. На такие показатели как размер, форма и распределение графитных включений, а также твердость чугуна энергоинформационное воздействие не повлияло.

Библ. 4, табл. 1.

УДК 621.74:669.15.74

Адаменко Л.А., Зимокос Г.Н., Иванова Л.Х., Бура Ю.Н. **Применение системного подхода к совершенствованию высокомарганцевой стали в отливках броней конусных дробилок** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.168 - 172.

Установлено влияние химического состава на свойства высокомарганцевой стали в отливках броней конусных дробилок, что дало возможность обосновать легирующий комплекс для таких отливок.

Библ. 4, табл. 1.

УДК 621.74:669.131.7

Иванова Л.Х., Маймур Я.С., Калашникова А.Ю., Захарова Т.В. **Применение системного похода для повышения служебных свойств чугунных отливок** // Системные техно-

 ISSN 1562-9945

логии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.173 - 177.

Установлено влияние химического состава на структуру и свойства чугуна для прокатных валков и мелющих шаров, что дало возможность обосновать легирующий комплекс для таких отливок.

Библ. 7.

УДК 629.4

Скалозуб В.В., Андрющенко В.О., Разумов С.Ю., Скалозуб М.В., Фокша К.С., Швець О.М. **Інформаційна технологія діагностування, прогнозування та управління стійким розвитком складних систем на основі рейтингових оцінок** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.178 - 185.

Розроблено інформаційну технологію та створено програмній комплекс на основі MS SQL Server, який автоматизує завдання багатокритеріального управління складними системами на основі рейтингових оцінок.

Бібл. 6, іл. 5.

УДК 620.179

Малайчук В.П., Федорович А.І. **Математичне моделювання марковських гамма-послідовностей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.186 - 191.

Розглянуто задачу моделювання нестаціонарних корельованих послідовностей на прикладі марковської гамма-послідовності. Досліджено залежності параметрів даної послідовності від різних коефіцієнтів кореляції. Досліджено можливості моделювання однопараметричних нестаціонарних послідовностей.

Бібл.2, Іл. 5.

УДК 621.452.3.002.3:621.9.048

Кривцов В.С., Павленко В.Н. **Дослідження впливу високоенергетичні електроімпульсне обробки на опір втоми титанових сплавів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (76). - Днепропетровск, 2011. - с.192 - 197.

Вивчено вплив методу високоенергетичної імпульсної обробки на опір втоми титанових сплавів. Встановлено значення коефіцієнтів зміцнення зразків, що залежать від структури зразка, яка визначається попередньої термообробкою, і мето-дом високоенергетичної імпульсної обробки.

Бібл.1.

UDK 621.039.555

Plakhotnik V.Yu. **Comparision of the two-dimensional coded apertures tomographic properties** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.3 - 8.

Tomographic capabilities of the gamma-ray imaging system with two-dimensional coded apertures are researched in the work. Influence of system defocusing on its image quality was investigated by mathematic modelling methods. Comparing of tomographic properties of coding masks on the base of uniformly redundant, modified uniformly redundant arrays and Hamming cyclic code was carrying out. It was stated that tomographic capabilities are independent on the coding sequence type.

Bibl.7, fig. 2

UDK 622.64-531.6:65.011.56

Mineev A.S**. The estimation of optimum parameters of vibrating influence to the geomaterials** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.9 - 15.

In work the estimation of optimum parameters of vibrating influence on elastic and not elastic geomaterials at which in the environment the maximum of amplitude of pressure is reached is executed. In case of not elastic materials for optimization the informative parameter, characterizing degree of transfer vibrating energy at the area is offered.

The analysis of researches has allowed to recommend using multifrequency mode of vibrating influence for the effective crashing frozen geomaterial

Bibl.5.

UDC 621.86.061(088.8)

Beygul O.A., Zhernachuk V.D., Lepetova A.L. **The new technology of clip crane cores making** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.16 - 20.

The technology of clip crane cores making with carbon steel by alloying of their effective area iron powder in the mould has been worked out.

Bibl. 5, ill. 2.

UDC 621-31

Moroz N. **Modeling electronic tract of digital gamma-cameras and tomographs** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.21 - 25.

The article presents a model of the electronic tract digital gamma-cameras and tomographs. Model simulation was conducted using software simulator Spice. The model is applicable to any number of photodetectors of various types.

Ref. 4, fig. 4.

UDC 621.867.2.192

Beygul O. A., Lepetova A. L., Bilous E. I., Ilchenko N. G. **The Determination of Works Band Conveyer Reliability** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.26 - 31.

The methods of determination of work band conveyer reliability at the metallurgical works has been worked out.

Bibl. 3, ill. 4.

УДК 004-93

Akhmetshina L.G., Yegorov A.A. **The improvement of the binarization accuracy of the imprints of the coating surface of the metal based on the adaptive intensity and contrast enhancement methods** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.32 - 43.

This article deals with adaptive intensity and contrast enhancement model description which is allowed to improve binarization accuracy of the RGB images of the coating surface imprints for father porosity calculation.

Lit. 4, fig. 5.

 ISSN 1562-9945

UDC 629.735.015.017.2

Klimenko S.V., Ogorenko V.V. **Estimate of objectivity of results of computer psychometric testing of the person** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.44 - 50.

Results of psychometric testing of the person depend on its relation to such a method of research of mentality. We propose an objective method of assessing relations between man and computer testing by processing the results of psychometric measurements: 1) assess the statistical relationship between the amount of information in the stimulus-questions (tasks) and time of reflection, 2) analysis of fluctuations of time and speed of processing stimuli in the testing process.

Bibl. 3, tabl. 2

UDC 541.138.2

Pererva V.A., Karpovich E.V. **Mathematical models of arc at welding by an unfluxible electrode** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.51 - 58.

The theoretical analysis of mathematical models for the method of welding by an unfluxible electrode is conducted. Construction of model of welding process by a hollow cathode must be executed with the cathode and anode phenomena in the post of arc. Can be definite closeness of current on an anode and optimum terms of welding process.

Bibl. 7.

UDC 625.141.2.001.26

Toth B.M. **Optimizatsiya nesuchoï konstruktsiï reykozvaryuvalnoï koliynoï cattle machine-1** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.59 - 71.

Results over of optimization of construction of planner of track KRS-1 are brought in the paper. The necessity of realization of optimization of construction of the investigated machine is reasonable, raising of task of optimization is executed, the simplified certainly-element model of construction of track KRS-1 is worked out. The estimation of durability of the optimal bearing construction of the track KRS-1 is executed on the basis of results of analytical research of the deflected mode.

Bibl. 6.

UDC 519.24:681

Koshulyan A., Malajchuk V. **A quality conformance inspection of the products having the specified allowance interval by means of modified Neiman–Pearson criterion** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.72 - 83.

A problem of the optimal choosing the inspection thresholds is considered towards the objects whose quality parameter is a random value due to its nature, is measured with errors and must be inside the allowance interval. The proposed method of the inspection thresholds choice minimizes the type II error upon condition that the type I error is less than a specified critical value.

Bibl. 5, ill. 1, table 0.

UDC 004,021

Dorosh I.A., Tarasov S., Snegirev M.G. **Development of algorithms and software tools for calculating the parameters of the magnetic field of the magnetic suspension of the energy-ray installation** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.84 - 90.

The work is devoted to developing algorithms and software developing tools for calculating the parameters of the magnetic field in the suspension of the rotor for vertical-axis wind power installation with the H-Darrieus rotor.

Bibl.2.

UDC 621.74.002.6:669.131.7

Hitko O.J., Shapran L.A., Hruchikov V.E., Ivanova L.H., Lazurenko S. **Approach of the systems to the choice of stove for technology of production cast rollers with bracers for MCCB** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.91 - 97.

The results of industrial experiments, sanctified to determination of optimal type of stove for melting at making of cast-iron rental rollers, are in-process presented and analysed, what the expense of alloying elements allows to decrease at melting of roll-foundry irons.

Bibl. 1.

UDC 621.391.26: 616-07

Korsun V.I., Kwiatkowski A.E., Glukhova N.V. **Analysis of digital filters for treatment of uroflowmetry** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.98 - 108.

The questions of digital filtering for data, obtained under medical study to diagnose an urodynamic disorders, were considered. The results of automated urodynamic curves classification are presented, with experimental confirmation of reliability.

Bibl. 5.

UDC 622.648.6+532.51.012

Zhevzhik A.V., Goryachkin V.N., Potapchuk I.J. **The study of particle motion in the cochlea fuel mixture coal-dust burner** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.109 - 116.

Compiled on the basis of mathematical model, the trajectory of the particles of coal fuel mixture in the cochlea M-5452 used for filing and pre-swirl pulverized coal burner in the boiler to TPP-110. As a result of calculations using the particle size distribution determined by the fraction of particles at the wall separating the cochlea, as well as the zone in which separation is most intense. To increase the efficiency of burning coal dust is recommended to make the selection of particles from the wall zone and their subsequent submission to the central part of the burner.

Bibl. 11.

UDC 06.051:06.046.2

Anna O.Sulim-Timovty, Anatoliy M.Dolzhanskiy **System account of quality indexes at the project-oriented organization activity planning** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.117 - 124.

On the basis of comparison of real and normative labor resources in relation to implementation of projects by the project-oriented organizations, taking into account the integral index of their internal environment development level, project commands quantitative composition, incompleteness risk of the indicated estimation as well as the use of fuzzy sets and factor analysis methods also conducting of virtual experiment, the system scheduling algorithm of resources is developed for activity realization of the proper firms. Analytical dependence of integral index constituent's development level for of the project-oriented organizations internal environment is definite on substantial influence factors. It allows quality optimizing and project command quantitative composition in organization.

Lit.- 8, pic. – 1.

UDC 004.632:004.75

Shemet A.A. **Analysis of parallel algorithm block backup** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.125 - 132.

This article provides an algorithm for block data backup. Done backup task decomposition using parallel systems. Analysis of the parallel algorithm are bunk-parallel and information graphs. Calculated the minimum number of processors required for the algorithm.

Bibl. 8.

UDC 621.365:621.315.61

Demura A.L. **Electromagnetic and warmth-physics appearance on the hardening process under the effect of field of microwave frequency of the polymeric composite materials** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.133 - 139.

Presented the results of researching of electromagnetic and principal physics on the hardening process under the effect of electromagnetic field of microwave frequency of the glass fibre plastics.

Two programs for constructing diagram were worked out during the researching. The first one show dependence of absorbed norm power from thickness dielectric. The second one distribute norm amplitude of electromagnetic field in dielectric.

Bibl. 7.

UDC 621.774.35.016.3

Grigorenko V.U., Markevich I.V., Pilipenko S. **Experimental research axial forces in cold rolling rolling** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.140 - 144.

Results of experimental investigation concerning the influence of adjusting the lever system in the cold tube roller rolling mill on the axial forces appearing in the process of tube rolling are presented in this paper, as well as propositions aimed to minimizing the axial forces. Substantiation of proposed measures had been also given.

Bibl. 5.

UDC 515.2

Gavrilenko E.A. **Determination of centers discrete curvatures presented curve** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.145 - 151.

Abstract-defined area of locating the centers of curvature, which correspond to source nodes discretely presented monotonous curve with the change of curvature.

Bibl. 3, ill. 3.

UDC 669. 183. 012.

Kamkina L.V., Mishalkin A.P, Kolbin N.A., Pshigotskij S.V., Stovba Ja.V. **Physical modeling of combined blowing bath in the bottom of steelmaking aggregates** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.152 - 157.

Clarified features of the interaction blowing with the metal bath with various methods of supply and placement of blowing device Assess their impact on basic indicators of the process.

Bibl. 6, ill.2.

UDC 622.272:622.257.1

Stupnik M.I. **Systematic approach to the embedded WORKS to reduce the flow of flooded clay** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.158 - 163.

Damping technologies of backfill clayish rocks by lump material at the existing crater caving are introduced. Required rock laying volume is defined taking into account porosity of the lump material and crystal lump rock medium diameter in the worked area.

Bibl. 12.

UDC 621.785:681.785.369:681.785.789

Kiriya G.Sh., Ivanova L.H., Shlyapin I.V., Muha D.V. **The probe of influence on solidifiable cast-iron for improve of structure and properties** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.164 - 167.

Substantial influence of energy-informative influence on quantitative indexes structures of the explored cast-iron and microhardness of tsementyta is set. On such indexes: size, form and distributing of the graphites including and hardness of cast-iron энергоинформационное influence did not render of influencing. Key words: cast-iron, energy-informative influence, structure, property.

Bibl.4, tabl.1.

UDC 621.74:669.15.74

Adamenko L.A., Zimokos G.N., Ivanova L.H., Bura U.N. **The Application of approach of the systems to the choice of high-manganese steel in founding by the armour of cone crushers** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.168 - 172.

Influence of chemical composition is set on properties of high-manganese steel in founding by the armour of cone crushers, that enabled to ground an alloying complex for such founding.

Bibl.4, tabl.1.

UDC 621.74:669.131.7

Ivanova L.H., Maymur Ya.S., Kalashnikova A.Yu., Zaharova T.V. **The Application of approach of the systems for the improve of operational propertits of cast-iron in founding** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.173 - 177.

Influence of chemical composition is set on structure and properties of cast-iron for forming rolls and grinding balls, that enabled to ground an alloying complex for such founding.

Bibl.7.

UDK 629.4

Skalozub V.V., Andrushenko V.A., Razumov S.Y., Skalozub M.V., Foksha K.S., Shveth O.M. **Information technology diagnosis, prognosis and management of sustainable development of complex systems on the basis of ratings** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.178- 185.

Developed information technology and created a software package based on MS SQL Server, which automates the task of managing complex multi-systems based on rating.

Bibl. 6, silt. 5.

620.179

Malaychuk V.P., Fedorovich A.I. **Reducing Mathematical modeling of Markov gamma sequences**

The problem of modeling non-stationary correlated sequences as an example of a Markov gamma sequence. The dependence of the parameters of the sequence of the various correlation coefficients. The possibility of one-parameter modeling of nonstationary sequences.

Bibl. 2, ill.5.

UDC 621.452.3.002.3:621.9.048

Krivtsov V.S., Pavlenko V.N. **Investigation of the effect high-electro-treatment on the fatigue resistance titanium alloys** // System technologies. N 5(76) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.192- 197.

Studied the effect the method of high-pulse treatment on fatigue resistance of titanium alloys. Fitted values of the coefficients of hardening of the samples, depending on the structure of the sample, determined by preliminary heat treatment, and methods of building a high-pulse treatment.

Bibl. 1.

 ISSN 1562-9945

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Плахотник Владимир Ювинальевич - старший научный сотрудник, научно-исследовательский отдел информационно-аналитического моделирования, научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Искра».

Минеев Александр Сергеевич - аспирант, НГУ.

Бейгул О.О. - д.т.н., профессор, завідувач кафедри металургійного обладнання Дніпродзержинського державного технічного університету.

Лепетова Г.Л. - к.т.н., доцент, кафедра нарисної геометрії та комп'ютерної графіки Дніпродзержинського державного технічного університету.

Білоус О.І. - к.т.н., доцент, кафедра металургійного обладнання Дніпродзержинського державного технічного університету.

Жерначук В.Д. - к.т.н., доцент, кафедра металургійного обладнання Дніпродзержинського державного технічного університету.

Ільченко М.Г. - ассистент кафедри металургійного обладнання Дніпродзержинського державного технічного університету.

Мороз Николай Георгиевич - старший научный сотрудник, научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Искра».

Ахметшина Людмила Георгіївна - д.т.н., доцент, професор кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Єгоров Артем Олександрович - старший викладач кафедри АСОІ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Огоренко Виктория Викторовна – кандидат медицинских наук, психиатр высшей квалификации.

Клименко Светлана Владимировна – к.т.н., старший преподаватель кафедры радиоэлектронной автоматики Физико-технического факультета Днепропетровского национального университета им.Олеся Гончара.

Карпович Елена Владимировна – доцент кафедры технологии производства Физико-технического факультета ДНУ им. Олеся Гончара.

Перерва Виктор Александрович – преподаватель кафедры технологии производства Физико-технического факультета ДНУ им. Олеся Гончара.

Товт Богдан Миколайович - Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна.

Кошулян А.В. - Дніпропетровський національний університет ім.О.Гончара.

Малайчук В.П. –професор ДНУ ім. О.Гончара.

Дорош И.А. – Інститут транспортних систем и технологий «Трансмаг».

Тарасов С.В. – Інститут транспортних систем и технологий «Трансмаг».

Снегирев М.Г. – Інститут транспортних систем и технологий «Трансмаг».

Хитько Александр Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры литейного производства НМетАУ.

Шапран Людмила Александрова – к.т.н., доцент кафедры литейного производства НМетАУ.

Хрычиков Валерий Евгеньевич – д.т.н., проф., заведеющий кафедры литейного производства НМетАУ.

Иванова Людмила Харитоновна – д.т.н., профессор кафедры литейного производства НМетАУ.

Лазуренко С.В. - Национальная металлургическая академия Украины.

Корсун В.И. - Национальный горный университет.

Квятковский А.Е. - Национальный горный университет.

Глухова Н.В. - Национальный горный университет.

Жевжик Александр Владиславович – к.т.н., доц., старший научный сотрудник отдела вибропневмотранспортных систем и комплексов Института геотехнической механики НАНУ.

Горячкин Вадим Николаевич – к.т.н., доцент кафедры "Теплотехника" ДНУЗТ.
Потапчук Ирина Юрьевна – ассистент кафедры "Теплотехника" ДНУЗТ.
Сулім-Тимовті Анна Олександрівна - к.т.н., доцент кафедри «Інтелектуальна власність» Національної металургійної академії України.
Должанський Анатолій Михайлович - професор, д.т.н., зав. кафедри «Якість, стандартизація та сертифікація» НМетУ.
Шемет Артем Олександрович - аспірант заочної форми навчання. Академія митної служби України.
Демура Антон Львович - к.т.н., заступник начальника – начальник управління науки, вищої та професійно-технічної освіти головного управління освіти і науки Дніпропетровської облдержадміністрації.
Григоренко Владимир Устинович – д.т.н., профессор кафедры обработки металлов давленим, Национальная металлургическая академия Украины.
Маркевич Иван Вікторович – к.т.н., асистент кафедры Инженерной графики и начертательной геометри, НМетУ.
Пилипенко Станислав Владимирович – к.т.н., доцент кафедры обработки металлов давленим, Национальная металлургическая академия Украины.
Гавриленко Євген Андрійович — к.т.н., доцент кафедры прикладної геометрії і інформаційних технологій проектування Таврійської державної агротехнічної академії.
Камкина Л.В. - д.т.н., профессор НМетУ.
Мешалкин А.П. - Национальная металлургическая академия Украины.
Колбин Н.А. - Национальная металлургическая академия Украины.
Пшигоцкий С.В. - Национальная металлургическая академия Украины.
Стовба Я.В. - Национальная металлургическая академия Украины.
Ступнік М.І. - к.т.н., проф. Криворізький технічний університет.
Кирия Геннадий Шалвович - к т.н, ст.науч. сотрудник, доцент кафедры литейного производства, НМетУ.
Иванова Людмила Харитоновна – д.т.н, профессор кафедры литейного производства, НМетУ.
Шляпин Иван Владимирович - аспирант НМетУ.
Муха Денис Владиславович - студент НМетУ.
Адаменко Людмила Андреевна - аспирант НМетУ.
Зимокос Георгий Николаевич – к.т.н., доцент кафедры литейного производства, НМетУ.
Бура Ю.Н. - студент НМетУ.
Маймур Яна Семеновна - аспірант НМетАУ.
Калашникова Аліна Юріївна - аспірант НМетАУ.
Захарова Тетяна Володимирівна - студент НМетАУ.
Скалозуб Владислав Васильович - д.т.н., проф., зав. кафедры КИТ ДНУЗТ.
Андрющенко Вадим Александрович - к.т.н., доцент кафедры КИТ ДНУЗТ.
Разумов Сергей Юркевич - ст. преп. кафедры КИТ ДНУЗТ.
Скалозуб Марина Владиславовна – аспирант ДНУЗТ.
Фокша Константин Сергеевич - ассистент кафедры КИТ ДНУЗТ.
Швец Олег Михайлович - ст. преп. кафедры КИТ ДНУЗТ.
Федорович А.И. – ДНУ ім.О.Гончара.
Кравцов В.С. - Национальный аерокосмический университет ім. М.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт».
Павленко Виталий Николаевич - Национальный аерокосмический университет ім. М.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт».

 ISSN 1562-9945