

УДК 669.017.3:532.529.5

А.И. Денисенко

АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА ГАЛОПИРОВАНИЯ ПРИ ИНЖЕКЦИОННОМ СИНТЕЗЕ ТОНКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Анотація. Розглядаються прояви галопування тонкого стрічкового композитного електроду, який формується із використанням інжекції в його поверхню мікрочасток електрохімічно активних речовин і переміщується відносно надзвукового двофазного струменя, що інжектує.

Введение и анализ публикаций

Создание композитных функциональных материалов с заранее заданными свойствами – одно из наиболее перспективных направлений удовлетворения потребностей общества в новых материалах специализированного назначения. Разработка и изготовление таких материалов связаны с формированием развитой мезоструктуры и предусматривают внедрение современных наукоемких технологий [1].

Разрабатываемая с применением инжекционного метода технология синтеза композитного слоя электродов первичных и вторичных источников электропитания [2, 3] включает транспортировку порции электрохимически активного (преимущественно оксидного) порошка в сверхзвуковое сопло, розгон в сопле двухфазной струи, которая состоит из газа и микрочастиц порошка, а также ударное торможение дисперсной фазы на подкладке. Микрочастицы, разогнанные до сверхзвуковых скоростей, при столкновении с подкладкой внедряются в нее, формируя приповерхностную композитную структуру [2].

Значительную технологическую перспективность для формирования тонких ленточных композитных электродных структур инъекцией двухфазной струи микрочастиц дисперсной фазы из литированных окислов металлов в приповерхностный слой проводника имеет применение металлической ленты, перемещаемой относительно действующей на нее двухфазной струи.

© Денисенко А.И., 2010

Характерной чертой поведения для разных сложных систем (электрохимических, физических, экологических и др.), удаленных от состояния термодинамического равновесия, является динамическая неустойчивость (нестабильность) их стационарных состояний [4], что приводит при определенных условиях к колебательному режиму – периодическому или хаотическому. Так, например, при высокоэнергетическом воздействии двухфазной струи на движущуюся металлическую ленту, экспериментально наблюдаются кинетические фазовые переходы, которые проявляются возникновением диссипативных структур [5,6].

Постановка задачи

В связи с тем, что движение тонкой металлической ленты в инжекционной камере является необходимой технологической компонентой синтеза тонких ленточных электродов, формируемых с применением инъекции микрочастиц литированных оксидов металлов в приповерхностный слой ленты сверхзвуковой двухфазной струей, исследования механизмов дефектообразования для минимизации или устранения условий, их порождающих, представляются актуальными.

Основная часть

Программно-аппаратный комплекс для инжекционного синтеза композитного функционального слоя на поверхности тонких ленточных электродов источников сохранения и превращения энергии, включает группу устройств, которые непосредственно влияют на движение обрабатываемой металлической ленты: сверхзвуковое сопло, предназначенное для разгона микрочастиц оксидов до высоких скоростей; нагреватели поверхности ленты и транспортирующего микрочастицы газа; лентопротяжное устройство, включающее подающий и принимающий ролики, обеспечивающие натяжение ленты, а также приводной (опорный) валик; инжекционная камера с расположенным в ней опорным валиком для позиционирования поверхности электродной ленты относительно среза сопла, пылезащищенными щелями в корпусе камеры для входа и выхода ленты, а также патрубком вытяжки, оснащенной системой сбора остаточного напыляемого материала.

В процессе работы программно-аппаратного комплекса для инжекционного синтеза композитного функционального слоя на

поверхности тонких ленточных электродов первичных и вторичных источников электроэнергии тонкая лента сматывается с подающего ролика, пропускается последовательно через входную и выходную пылезащищенные щели в корпусе инжекционной камеры и наматывается на принимающий ролик. В инжекционной камере лентопротяжное устройство прижимает ленту к приводному валу таким образом, что зону воздействия двухфазной струи фрагменты ленты пересекают, опираясь на поверхность этого валика. Пылевоздушная смесь с остаточным напыляемым материалом удаляется из инжекционной камеры с применением вытяжки.

Вследствие нестабильностей в пределах инжекционной камеры на тонкой электродной ленте наблюдались дефекты в виде надрывов по краям и порывов (как после, так и до зоны воздействия высокоскоростной струи с микрочастицами на ленту в области опирания на валик).

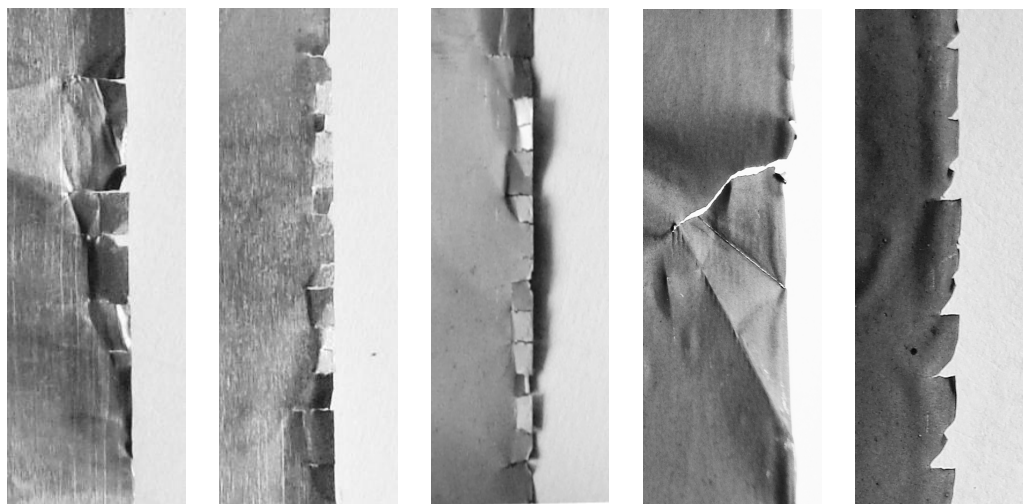


Рисунок 1 - Примеры дефектов тонкой электродной ленты вследствие ее галопирования при инжекционном синтезе

Анализ процессов, порождающих большинство дефектов упомянутых видов, приводит к выводу, что экспериментально наблюдающиеся хлопья ленты, волны, синхронные и несинхронные резонансные колебания фрагментов ленты, расположенных между опорным валом и направляющими щелями в корпусе камеры, чувствительность энергии колебаний к степени натяжения ленты, которые приводят к формированию упомянутых выше дефектов, могут быть сведены, по аналогии с [7,8], к проявлениям пляски (галопирования) тонкой металлической ленты, перемещаемой в

инжекционной камере относительно действующей на нее двухфазной струи.

Известно [7], что большинство видов динамических колебаний могут быть сведены к самвозбуждающимся колебаниям, которые возникают в результате действия источников энергии, не имеющих колебательных свойств. Галопирование является одной из наиболее опасных разновидностей колебательных движений для колеблющихся объектов. Так, например, при галопировании высоковольтных проводов в прогонах между опорами могут происходить их деформации [7], особенно в зажимах креплений к изоляторам, а также повреждения в результате действия колебательных процессов.

Галопированию тонкой металлической ленты, как разновидности колебательного движения, присущи все основные закономерности, характерные для других волновых процессов, в том числе следующие: 1) отклонение в любой точке тонкой металлической ленты от нейтрального положения или ударное влияние на фрагменты ее поверхности приводит к распространению волн той же формы вдоль ленты в обоих направлениях от зоны влияния; 2) возникающие волны представляют собой спектр частот с гармониками; 3) при столкновении волны с препятствием (зажим, опора и т.д.) происходит отражение, пропускание или поглощение волны. Отраженная волна имеет ту же форму, но противоположное направление распространения. Пропускание сводится к переходу волны того же знака и формы через препятствие, вследствие чего волна, возникшая на ленте в одном промежутке между опорами, передается фрагментам ленты, которые находятся за этими опорами в смежных промежутках. Возможен случай, когда в смежном промежутке в результате волнового транспорта вдоль ленты дополнительной энергии происходит не поглощение, а усиление, например, вследствие совпадения направлений влияний.

Отметим, что реальная длина ленты всегда немного превышает длину промежутка между опорами; вес ленты преимущественно распределен равномерно по длине ленты (а не упомянутого промежутка); сила веса фрагментов ленты, как правило, не совпадает по направлению с перпендикулярами к их поверхностям, что и приводит к неравномерности силы веса вдоль ленты в пределах промежутка между опорами.

На основании вышеприведенного отметим особенности поведения тонкой металлической ленты под воздействиями на нее в пределах инжекционной камеры переменных порывов воздушного потока:

- колебания возникают не только в случае непосредственного воздействия воздушного потока на ленту в промежутках между опорным валиком и ближайшими к нему опорами, но и в случае воздействий на смежные с ними промежутки;

- под давлением воздушного потока на отдельные промежутки вместе с поперечным отклонением тонкой металлической ленты может происходить также и продольное отклонение линий опирания ленты на опоры относительно ее поверхности.

Рассмотрим последовательные этапы развития процесса возникновения колебаний тонкой подвижной металлической ленты в промежутке между опорным валиком и другими опорами: 1) этап, который предшествует началу исследуемого процесса: расположение тонкой подвижной металлической ленты принято в спокойном состоянии, когда на ленту действуют лишь силы веса ленты и продольные натяжения, обеспечивающие ее перемотку; 2) этап возмущения ленты в результате действия воздушного потока; 3) этап раскачивания ленты и ее влияния на опоры, в частности периодическое изменение расположения линий опирания вдоль ленты; 4) возникновение колебаний ленты вследствие периодических изменений расположения линий опирания относительно поверхности ленты и их резонансный захват.

Неравномерное (порывистое) давление воздушного потока в пределах инжекционной камеры воспроизводится через взаимодействие разогнанной воздушной инжектирующей струи со струей запыленного воздуха, которая формируется вытяжной системой. При этом действие порывистого давления воздуха на разные участки тонкой металлической ленты приводит до формирования продольных вдоль ленты усилий и смещений под действием этих усилий линий опирания ленты на опоры, а из-за того, что влияние воздушного потока имеет импульсный характер, такие усилия включают спектр гармоничных колебаний. Изменение расположения линий опирания ленты на опоры в продольном направлении эквивалентно изменению длины ленты в промежутке.

Эти отклонения не существенны для расчета механической прочности тонкой ленты при перематке, но они имеют существенное влияние на процесс возникновения галопаирования.

В случае изменения расположения линий опирания ленты на опоры в продольном относительно нее направлении возникает дополнительная сила, определяемая разницей натяжений в прогонах слева и справа линий опирания. В точке наибольшего провисания в промежутке между опорами возникает ускорение ленты. Если это ускорение превысит ускорение силы веса, то приведет к вертикальному движению соответствующего фрагмента ленты. При подъеме ленты натяжение в ней будет уменьшаться до момента достижения лентой прямой, соединяющей линии крепления. По мере последующего движения ленты вверх в ней нарастает натяжение вплоть до уравнивания сил, включая силы инерции. Так начинается процесс галопирования ленты. Следует отметить, что усилие подъема возникает не только в точке максимального провисания, но и по всей длине ленты. Поэтому влияние на ленту будет значительнее.

На этой основе галопирование тонкой металлической ленты вблизи опорного валика в камере для синтеза металлокомпозитных ленточных электродов инъекционным методом можно определить (по аналогии с [8]) как явление аэродинамической неустойчивости и результат аэроупругого взаимодействия ленты с воздушным потоком при возмущении возбуждения колебаний в результате перемещения линий опирания ленты на опоры. Главной причиной возникновения галопирования является изменение эквивалентной длины ленты в промежутках между опорами вследствие колебаний линий опирания ленты на опоры. Сила действия, которая возникает при колебаниях линий опирания ленты на опоры, является возбудителем для возникновения галопирования в случае превышения вызванного этой силой вертикального ускорения относительно ускорения силы веса.

Вследствие того, что движение тонкой металлической ленты в инъекционной камере является необходимой технологической компонентой синтеза тонких ленточных электродов инъекционным методом, известные методы угнетения галопирования созданием препятствия продольным перемещениям точек крепления, разработанные для высоковольтных проводов в прогонах между

опорами [7,8], являются непригодными для тонкой металлической ленты, которая должна иметь возможность движения в этом направлении.

Учитывая вышеизложенное, наиболее действенным для обеспечения повышенной «живучести» тонкой подвижной металлической ленты путем устранения ее галопирования в инжекционной камере представляется использование (как минимум в пределах инжекционной камеры) лентопроводов достаточной жесткости, расположение которых обеспечило бы минимальные длины прогонов ленты вблизи опорного валика. Решение таким способом проблемы повышения «живучести» тонкой подвижной металлической ленты значительно смягчает требования к диапазону величин ее натяжений, что, в свою очередь, предоставляет степень свободы для оптимизации натяжений перемотки ленты.

Выводы

Причины дефектообразования в виде надрывов по краям и порывов, наблюдаемых на тонких ленточных электродах при их инжекционном синтезе, в основном могут быть сведены к проявлениям галопирования тонкой электродной ленты, перемещаемой в инжекционной камере относительно действующей на нее двухфазной струи.

Галопирование тонкой ленты вблизи опорного валика в камере для синтеза композитных ленточных электродов инжекционным методом можно определить как явление аэродинамической неустойчивости и результат аэроупругого взаимодействия ленты с запыленным газовым потоком при возмущении возбуждения колебаний в результате перемещений линий опирания ленты на опоры.

Для повышения «живучести» тонкой и подвижной относительно своих опор ленты путем подавления факторов, способствующих развитию ее галопирования, перспективно применение конструктивных мер защиты, например, лентопроводов достаточной жесткости в пределах инжекционной камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безимьянний Ю.Г. Акустичне відображення параметрів мезоструктури порошкових та композиційних матеріалів з дефектами і розробка методів прогнозування їх властивостей пружності: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / Ю.Г. Безимьянний; Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ – Київ, 2007. – 47 с.
2. Денисенко А.И. Преимущества и ограничения инжекционного метода формирования металлокомпозитного катода / А.И. Денисенко // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 4-5. – С. 94-97.
3. Денисенко А.И. Автоматическое управление программно-аппаратным комплексом для синтеза наноструктур / А.И. Денисенко, Е.П. Калинушкин // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2006). – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 186-189.
4. Варгалюк В.Ф. Теоретический анализ сложных электрохимических систем, характеризующихся динамической неустойчивостью / В.Ф. Варгалюк, А.В. Болотин // Укр. хім. журн. – 2005. – Т. 71. №3. – С. 47 – 49.
5. Денисенко А.И. К формированию диссипативных структур энергетическим воздействием двухфазной струи на металлическую ленту / А.И. Денисенко // Materialy VI Mezinarodni vedecko-prakticka konference „Nastoleni moderni vedy – 2007” - Dil 5. Technicke vedy.: Praha. Publishing House „Education and Science”. s.r.o – s. 7-10.
6. Денисенко А.И. О механизме образования диссипативных структур на металлической ленте под воздействием двухфазной струи/ А.И. Денисенко, А.А. Балакин // Materialy IV Mezinarodni vedecko-prakticka konference „Vedecky prumysl evropskeho kontinentu – 2007” - Dil 14. Technicke vedy.: Praha. Publishing House „Education and Science”. s.r.o – s. 7-11.
7. Патент 77097 Укр., МКИ H02G 7/00. Спосіб запобігання та гасіння галоупування проводів. /Левченко В.Г., Груба Г.І., Удод Т.Є., Крижов Г.П., Плакіда В.Т., Калашніков В.Д./ Заявл. 25.01.2005, опубл. бюл. №10, 16.10.2006.
8. Удод Т.Є. Конструктивний захист повітряних ліній електропередачі від галоупування проводів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Т.Є. Удод; Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2008. – 19 с.

Получено 03.04.2010г.

УДК 539.3

И.Ю. Наумова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАСТИНЫ СО СЖИМАЮЩИМИ ЕЕ
ШТАМПАМИ ОТ ЗНАЧЕНИЯ ТОРЦЕВЫХ НАГРУЗОК**

Анотація. Розглянута контактна задача про взаємодію пластини зі штампами, що її стискають, під дією торцевих навантажень у постановці уточненої теорії пластин. Отримано рівняння щодо контактних взаємодій в диференціальній формі і знайдено загальний інтеграл цих рівнянь. Досліджено чотири варіанти взаємного розташування пластини і штампів.

Введение. Исследуемая задача относится к классу плоских контактных задач, в которых в области контакта имеются участки области сцепления и проскальзывания с трением. При решении таких задач в постановке теории упругости возникают трудности при численной реализации, в связи с большими градиентами контактных взаимодействий в окрестности границ области сцепления. Расположение этих границ зависит от интенсивности приложенных торцевых нагрузок и заранее неизвестно. Решение этих задач в постановке уточненной теории пластин [1] дает возможность более полно исследовать характер взаимодействия негладкой пластины со штампами.

Постановка задачи. Рассмотрим плоскую деформацию негладкой пластины толщины h и ширины $2l$, зажатой между плоскими штампами так, что заданы их поступательные перемещения W (рис. 1). К торцам пластины приложена продольная нагрузка, главный вектор которой P^- на левом торце и P^+ на правом.

Поскольку между штампами и пластиной негладкий контакт, действие штампов на пластину описывается двумя функциями продольной координаты x : $q_\tau(x)$ (касательное контактное взаимодействие) и $q_n(x)$ (нормальное контактное взаимодействие), одинаковыми на обеих лицевых поверхностях пластины ввиду симметрии задачи относительно x .

© Наумова И.Ю., 2010

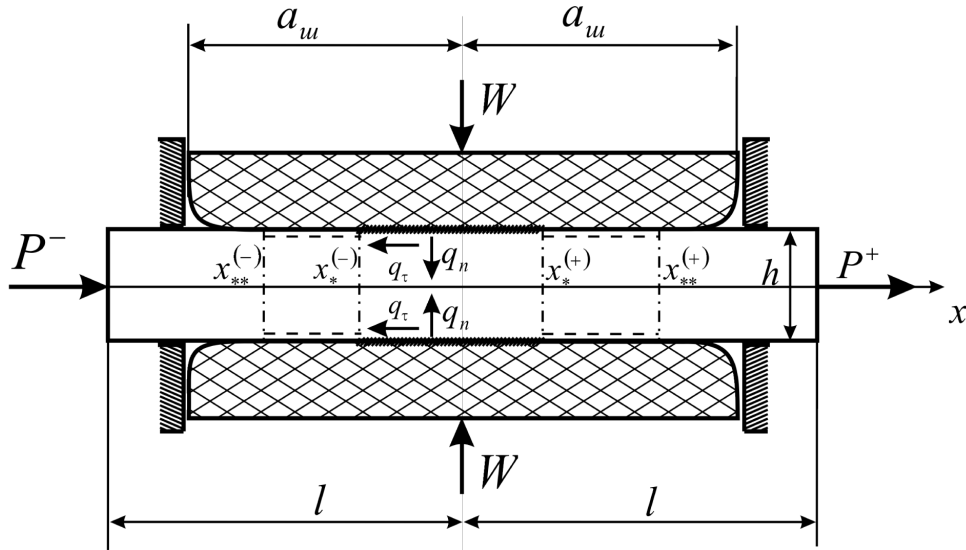


Рисунок 1

Уравнения уточненной теории пластин [1] для плоской деформации со специальными коэффициентами [2] в этом случае приобретают вид:

$$\frac{dN}{dx} = 2 \cdot q_\tau; \quad \frac{dV}{dx} = \frac{1-\nu}{2G} N + \frac{\nu}{2G} \left(2 \left(b - \frac{1}{4} \right) \cdot \frac{dq_\tau}{dx} + q_n \right); \quad (1)$$

$$u_\tau^{(j)} = V - \frac{2-\nu}{G} \cdot \left(b - \frac{1}{4} \right) \cdot q_\tau + \frac{1-\nu}{2G} \cdot \left(\lambda_{\tau\tau} \cdot \frac{d^2 q_\tau}{dx^2} + \lambda_{\tau n} \cdot \frac{dq_n}{dx} \right)$$

$$u_n^{(j)} = j \cdot \left(\frac{\nu}{4G} \cdot N + \frac{1-\nu}{2G} \left(\lambda_{n\tau} \frac{dq_\tau}{dx} + \lambda_{nn} \cdot q_n \right) \right). \quad (2)$$

Здесь N - продольные усилия в пластине, V - осредненные по толщине пластины продольные перемещения, $u_\tau^{(j)} = u_\tau \left(x, \frac{jh}{2} \right)$,

$u_n^{(j)} = u_n \left(x, \frac{jh}{2} \right)$ - касательные и нормальные перемещения точек лицевых поверхностей пластины соответственно; $j = \mp 1$ - верхняя и нижняя поверхности пластины соответственно; G , ν - модуль сдвига и коэффициент Пуассона материала; $b = 0,337$, $\lambda_{\tau\tau} = 0,0315$, $\lambda_{\tau n} = \lambda_{n\tau} = 0,115$, $\lambda_{nn} = 0,5$ - коэффициенты, соответствующие рассматриваемому классу задач.

Краевые условия на торцах пластины следующие:

$$N(-l) = \frac{P^-}{h}; \quad N(l) = \frac{P^+}{h}. \quad (3)$$

В каждой точке под штампом возможно одно из трех состояний: сцепление, проскальзывание с трением или отставание.

В области сцепления $x \in (x_*^{(-)}, x_*^{(+)})$ имеют место условия:

$$u_\tau^{(j)} = 0; \quad u_n^{(j)} = -jW. \quad (4)$$

В области проскальзывания с трением вправо $x \in (x_{**}^{(-)}, x_*^{(-)}) \cup (x_*^{(+)}, x_{**}^{(+)})$:

$$q_\tau = f \cdot q_n \geq 0; \quad u_n^{(j)} = -jW, \quad (5)$$

где f - коэффициент трения – скольжения.

В области отставания $x \in (-a_m, x_{**}^{(-)}) \cup (x_{**}^{(+)}, a_m)$:

$$|u_n^{(j)}| > W; \quad q_\tau \equiv 0; \quad q_n \equiv 0. \quad (6)$$

Известно, что даже при заданных значениях коэффициента трения f и коэффициента Пуассона ν , пластина в области контакта на разных участках может находиться в различных состояниях в зависимости от соотношений между величинами P^- , P^+ и W . Для установления зависимости положения границ областей сцепления

$x = x_*^{(\pm)}$ и проскальзывания с трением $x = x_{**}^{(\pm)}$ от величин $\tilde{P}^\pm = \frac{\nu P^\pm}{4GWh}$

в первую очередь необходимо определить области допустимых значений величин $\tilde{P}^\pm$, при которых имеет место одно из трех состояний по всей области контакта пластины со штампами: отставание, проскальзывание с трением или сцепление. Такие состояния будем называть: полным отставанием, полным проскальзыванием, полным сцеплением.

Решение. Исключая переменные состояния N , V из контактных соотношений (2) путем их дифференцирования с использованием уравнений (1) при условиях (4) – (6) получаем разрешающие уравнения относительно контактных взаимодействий q_τ , q_n с краевыми условиями на них:

- в области сцепления:

$$\frac{d^4 q_\tau}{dx^4} - 2A_c \frac{d^2 q_\tau}{dx^2} + B_c^2 q_\tau = 0;$$

$$\begin{aligned}\frac{d^3 q_\tau}{dx^3} - 2A_c \frac{dq_\tau}{dx} &= -\frac{2vGW}{(1-v)^2 \Lambda} \left(1 - \frac{1-2v}{4vGW} N\right); \\ q_n &= \frac{4(1-v)GW}{1-2v} + \frac{2v}{(1-v)B_c^2} \left(\frac{d^2 q_\tau}{dx^2} - 2(A_c + C_c) \frac{dq_\tau}{dx}\right); \\ V &= -\frac{1-v}{G} \Lambda \left(\frac{d^2 q_\tau}{dx^2} - D_c q_\tau\right); \end{aligned} \quad (7)$$

- в области предельного состояния проскальзывания с трением

$$\begin{aligned}\frac{d^2 q_\tau}{dx^2} - 2A_T \frac{dq_\tau}{dx} + B_T^2 q_\tau &= 0; \quad \frac{dq_\tau}{dx} + 2A_T q_\tau = \frac{2GW}{(1-v)\lambda_{n\tau}} \left(1 - \frac{vN}{4GW}\right); \\ q_n &= \frac{q_\tau}{f}; \quad V - u_\tau^{(+)} = \frac{\Lambda(1-v)}{2fG\lambda_{n\tau}} \left(\frac{dq_\tau}{dx} - D_T q_\tau\right); \end{aligned} \quad (8)$$

- в области отставания

$$\frac{du_n^{(+)}}{dx} = 0; \quad \frac{du_\tau^{(+)}}{dx} + 2\frac{1-v}{v} u_n^{(+)} = 0; \quad V = u_\tau^{(+)}; \quad N = -\frac{4Gu_3^{(+)}}{v}. \quad (9)$$

В формулах (7) – (9) коэффициенты A_c , A_T , B_c , B_T , C_c , D_c , D_T , Λ выражаются через коэффициент Пуассона, модуль сдвига, коэффициент трения – скольжения, а также коэффициенты b , $\lambda_{\tau\tau}$, $\lambda_{\tau n}$, λ_{nn} .

Общий интеграл системы (7) имеет четыре произвольные константы, которые удобно выразить через $N(x_*^{(\pm)})$, $q_\tau(x_*^{(\pm)})$. Общий интеграл системы (8) имеет две произвольные константы, которые удобно выразить через $N(x_*^{(+)})$, $N(x_{**}^{(+)})$ или через $N(x_*^{(-)})$, $N(x_{**}^{(-)})$. Здесь необходимо уточнить постановку исходной задачи. Возможны следующие четыре варианта взаимного расположения пластины и штампов (рис. 2). Пластина на входе в пространство между штампами (рис. 2-а); пластина на выходе (рис. 2-б); пластина вся помещается между штампами, когда ее ширина меньше ширины штампов (рис. 3-в) или края пластины оказываются вне штампов, когда ширина пластины больше ширины штампов (рис. 4-г).

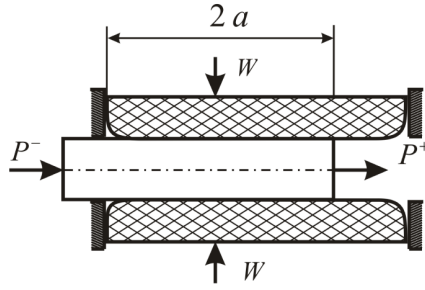


Рисунок 2-а

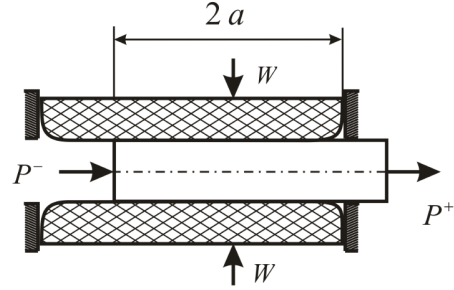


Рисунок 2-б

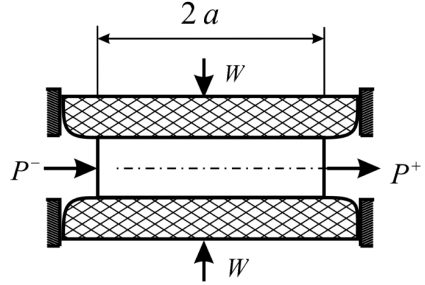


Рисунок 2-в

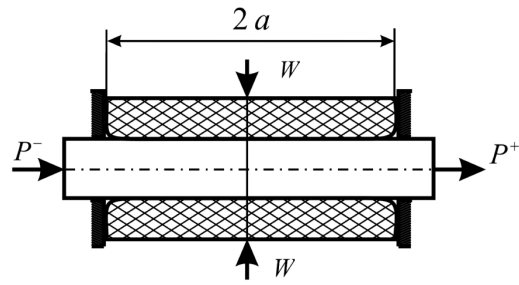


Рисунок 2-г

Состояние полного отставания, как следует из уравнений (9) и условий (3), (6), наступает при

$$\tilde{P}^+ = -\tilde{P}^- \geq 1 \quad (10)$$

На рисунке 3 состояние (10) изображается лучом 1.

Рассмотрим состояние полного проскальзывания с трением вправо. В этом случае краевые условия на торцах полностью определяют ее контактные взаимодействия q_τ , q_n , которые линейно выражаются через $\tilde{P}^+$, $\tilde{P}^-$ следующим образом

$$q_\tau = \frac{2GW}{v} \left((1 - \tilde{P}^+) \cdot \Phi_1(x, a) - (1 - \tilde{P}^-) \cdot \Phi_2(x, a) \right), \quad (11)$$

где

$$\Phi_1(x, a_T) = \Phi(x, a, \lambda_1, \lambda_2);$$

$$\Phi_2(x, a) = \Phi(-x, a, -\lambda_1, -\lambda_2);$$

$$\lambda_{1,2} = A \pm \sqrt{A^2 - B^2};$$

$$\Phi(x, a_T, \lambda_1, \lambda_2) = \frac{\exp(2\lambda_1 a) \cdot (\lambda_1 \cdot \exp(-\lambda_1(a+x)) - \lambda_2 \cdot \exp(-\lambda_2(a+x)))}{1 - \exp(-2(\lambda_2 - \lambda_1)a)}$$

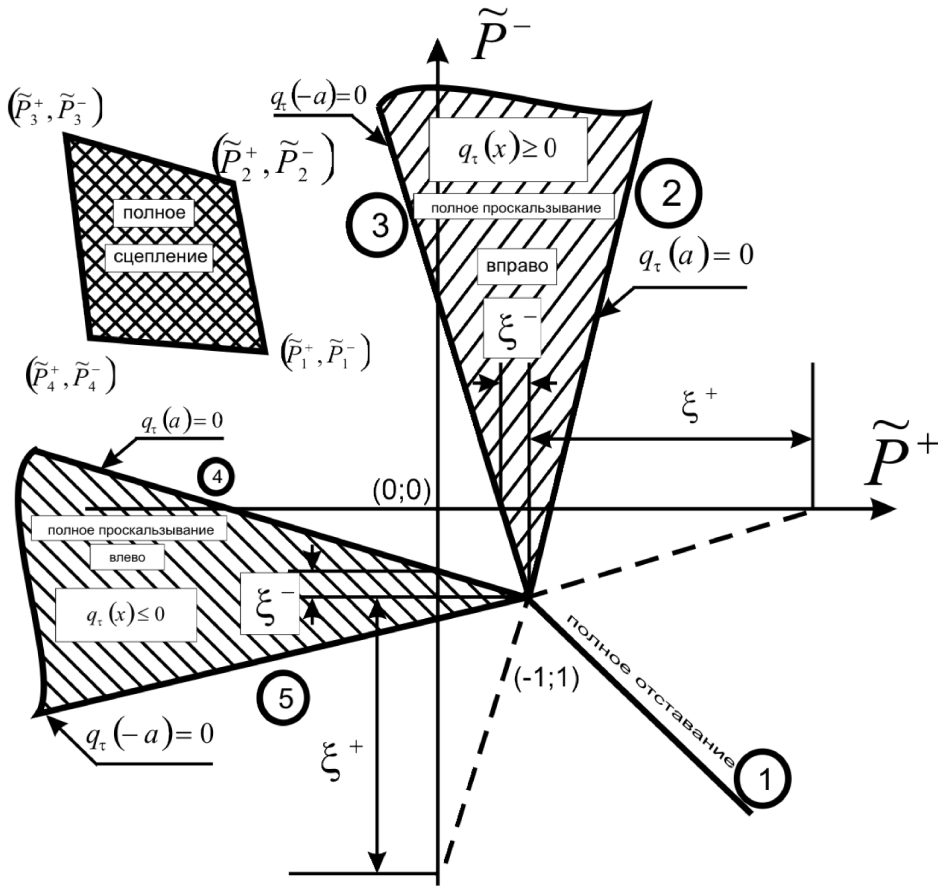


Рисунок 3

В каждой точке x_k области контакта $[-a; a]$ первое из условий (5) накладывает ограничение на $\tilde{P}^\pm$ в виде линейного неравенства

$$q_\tau(\tilde{x}_k; \tilde{P}^+; \tilde{P}^-) \geq 0; \quad \tilde{x}_k = x_k + a_{\text{ш}} - a. \quad (12)$$

Решение этого неравенства представляет собой полуплоскость, ограниченную прямой, проходящей через точку $\tilde{P}^+ = 1; \tilde{P}^- = -1$. Пересечением множеств полуплоскостей для всех точек из области $|\tilde{x}_k| \leq a$ является сектор, ограниченный лучами 2 и 3 (рис. 3). Луч 2 соответствует условию $q_\tau(a) = 0$; луч 3 – условию $q_\tau(-a) = 0$.

Положение лучей 2 и 3 определяется значениями параметров $\xi^\pm$

$$\begin{aligned} \xi^- &= \frac{\lambda_2 \exp(-2\lambda_1 a) - \lambda_1 \exp(-2\lambda_2 a)}{\lambda_2 - \lambda_1} \\ \xi^+ &= \frac{\lambda_1 \exp(2\lambda_2 a) - \lambda_2 \exp(-2\lambda_1 a)}{\lambda_2 - \lambda_1}. \end{aligned} \quad (13)$$

Такая область в виде сектора получается для расположения пластины, изображенного на рисунке (2-г). В задачах, показанных на рисунках (2-а) – (2-в), дополнительно имеются условия парности касательных напряжений, для удовлетворения которых произволов нет. Это можно истолковать так, что состояние полного проскальзывания при расположении торцов пластины под штампом и произвольном нагружении их силами $\tilde{P}^{\pm}$ не возможно. Однако, если связать силы $\tilde{P}^+$ и $\tilde{P}^-$ так, чтобы $q_{\tau}(a) = 0$:

$$\tilde{P}^- = \xi^+ (\tilde{P}^+ - 1) - 1, \quad (14)$$

то может реализоваться полное проскальзывание для пластины на входе (рис. 2-а). При этом сектор проскальзывания с трением вырождается в луч 2.

Аналогично можно найти объяснение состояния полного проскальзывания для задачи, когда пластина находится на выходе (рис. 2-б). В этом случае выполнение условия парности касательных напряжений $q_{\tau}(-a) = 0$ можно добиться, если положить

$$\tilde{P}^- = \frac{1}{\xi^-} (1 - \tilde{P}^+) - 1. \quad (15)$$

При этом сектор проскальзывания вырождается в луч 3.

Что касается задачи, изображенной на рисунке 2-в то здесь полное проскальзывание невозможно ни при каких значениях $\tilde{P}^{\pm}$. Действительно, в этом случае из условия парности касательных напряжений $q_{\tau}(\pm a) = 0$ согласно (11) следует, что $\tilde{P}^+ = -\tilde{P}^- = 1$, то есть имеет место полное отставание. Такой вывод справедлив, если пластина ограничена идеальным прямоугольником. В реальных же конструкциях ребра пластины, как правило, скруглены. Поэтому условия парности касательных напряжений на торцах пластины отпадают и получаем что этот случай эквивалентен задаче, изображенной на рисунке 2-г.

При полном проскальзывании влево во всей области контакта имеет место условие:

$$q_{\tau} = -f \cdot q_n \leq 0; \quad u_n^{(j)} = -jW. \quad (16)$$

Исследование этого состояния пластины аналогично исследованию проскальзывания пластины вправо. В результате получим заштрихованную на рисунке 3 область, ограниченную

лучами 4 и 5, которая является зеркальным отображением заштрихованной области, ограниченной лучами 2 и 3 относительно прямой $\tilde{P}^+ + \tilde{P}^- = 0$. Луч 4 описывает проскальзывание влево пластины на рисунке 2-а, луч 5 – на рисунке 2-б.

Перейдем к определению области допустимых значений сил $\tilde{P}^\pm$, при которых имеет место полное сцепление, определяемое условиями

$$|q_\tau(x)| < f \cdot q_n(x); q_n(x) > 0, |x| \leq a. \quad (17)$$

После удовлетворения условиям на торцах пластины (3) остаются неопределенными 2 константы $q_\tau(\pm a)$. Если оба конца или один из концов пластины находятся под штампом (рис. 2-а, 2-б, 2-в), то соответствующая этому константа в силу закона парности касательных напряжений должна обращаться в ноль. Если конец пластины или оба конца выходят за штамп, то в данной постановке задачи условий для определения указанных констант нет. В постановке теории упругости в этом случае возникает осцилляционная особенность [3,4] и, следовательно, соответствующее касательное взаимодействие в этой точке не определяется. В предлагаемой постановке будем предполагать, что концы штампа скруглены. Тогда естественно в этом месте задать условие $q_n(\pm a) = 0$, из которого можно определить недостающие константы $q_\tau(\pm a)$.

Таким образом, учитывая сказанное выше, условия полного сцепления (17) представляют собой систему линейных неравенств относительно $\tilde{P}^\pm$, которые должны выполняться при любом значении $x \in (-a, a)$. Решение этой системы – пересечение ее решений для каждого значения $x = x_k$ в отдельности. Для каждого $x = x_k$ система (17) эквивалентна двойному неравенству

$$-f \cdot q_n(x_k; \tilde{P}^+, \tilde{P}^-) \leq q_\tau(x_k; \tilde{P}^+, \tilde{P}^-) \leq f \cdot q_n(x_k; \tilde{P}^+, \tilde{P}^-), |x_k| \leq a. \quad (18)$$

Решением (18) в плоскости $\tilde{P}^+, \tilde{P}^-$ является сектор, ограниченный лучами предельных состояний сцепления в каждой точке $x = x_k$. Тогда решением для всех точек области $|x_k| \leq a$ является пересечение множеств секторов (18). Переход от сцепления

к проскальзыванию может наступить в первую очередь в тех точках x_* , в которых функции

$$\mathbf{F}^{(\pm)}(\mathbf{x}_k) = \mathbf{f} \cdot \mathbf{q}_n(\mathbf{x}_k; \tilde{\mathbf{P}}^+, \tilde{\mathbf{P}}^-) \mp \mathbf{q}_\tau(\mathbf{x}_k; \tilde{\mathbf{P}}^+, \tilde{\mathbf{P}}^-) \quad (19)$$

достигают минимума. Таких точек, соответствующих двум функциям (19), будет две. Поэтому, пересечением множеств секторов (18) является пересечение секторов, соответствующих этим двум точкам, то есть, четырехугольник. Качественная картина области сцепления изображена на рисунке 3 в виде четырехугольника с вершинами $\tilde{P}_k^\pm (k = 1, 2, 3, 4)$. На рисунках 4 – 7 приведены картины рассматриваемых состояний для рассматриваемых взаимных расположений пластины и штампов при следующих значениях параметров: $v = 0, 3$, $f = 0, 4$, $a = 2h$.

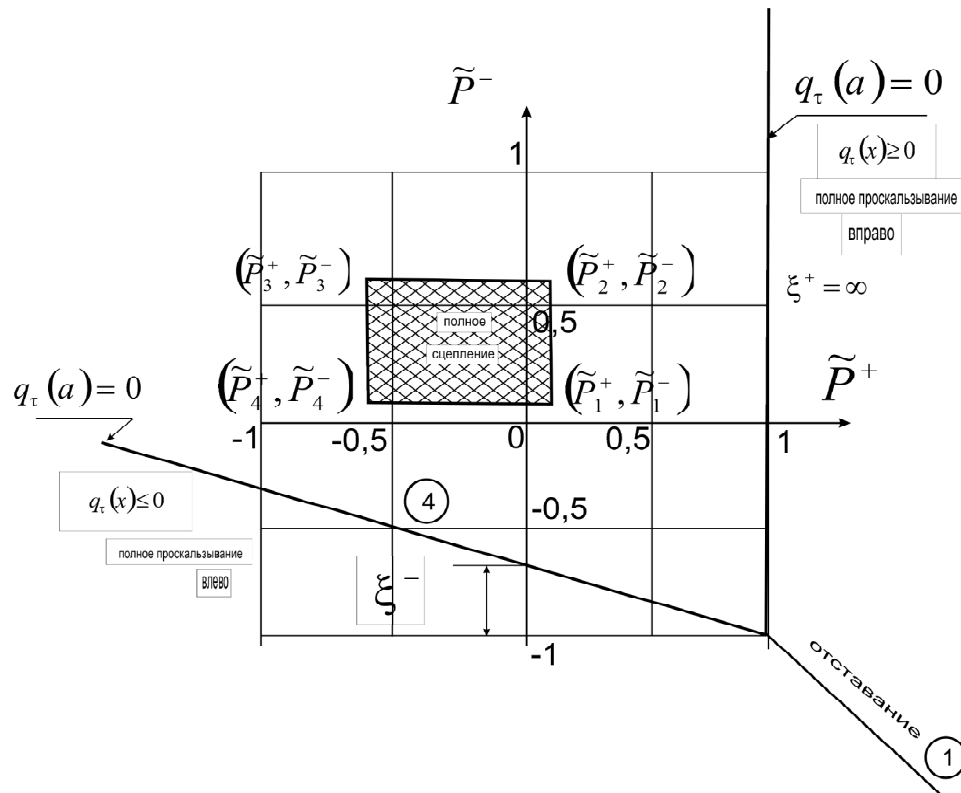


Рисунок 4

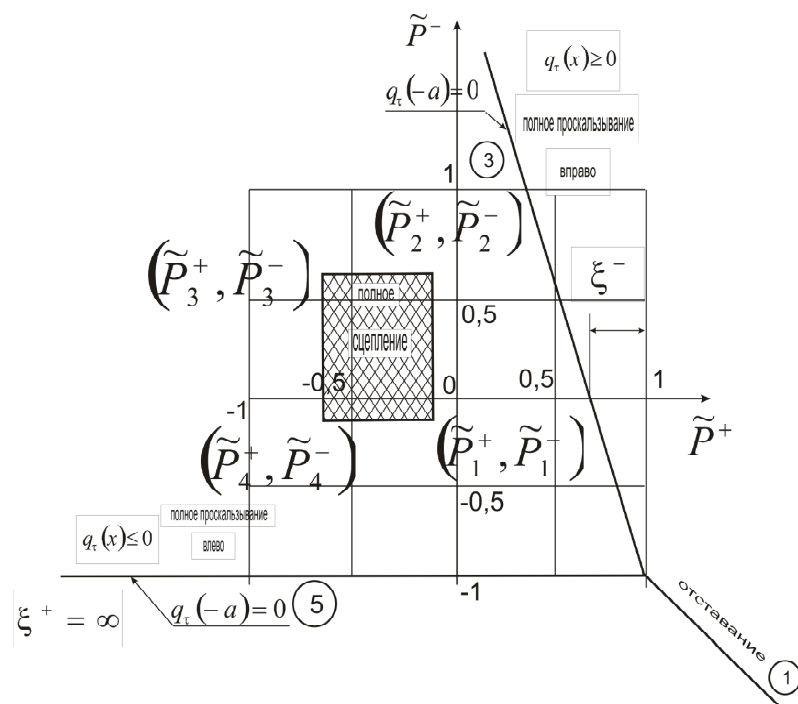


Рисунок 5

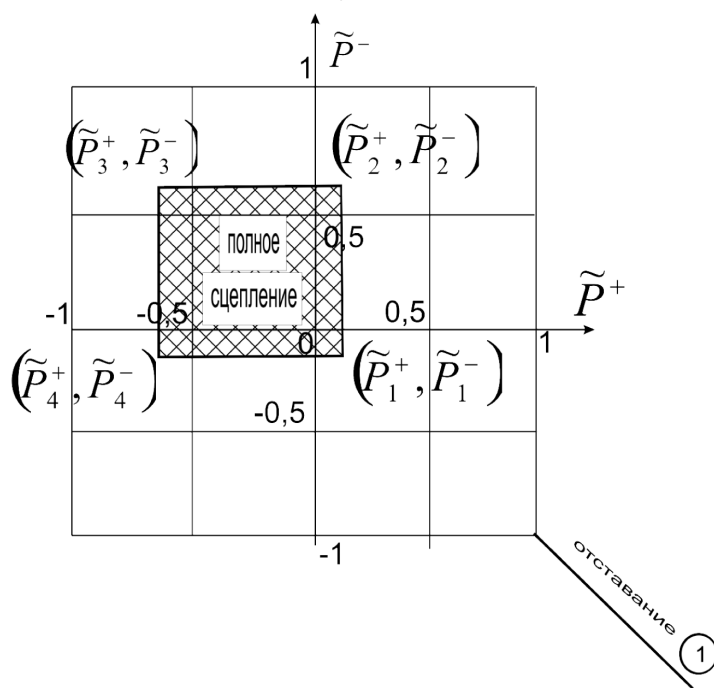


Рисунок 6

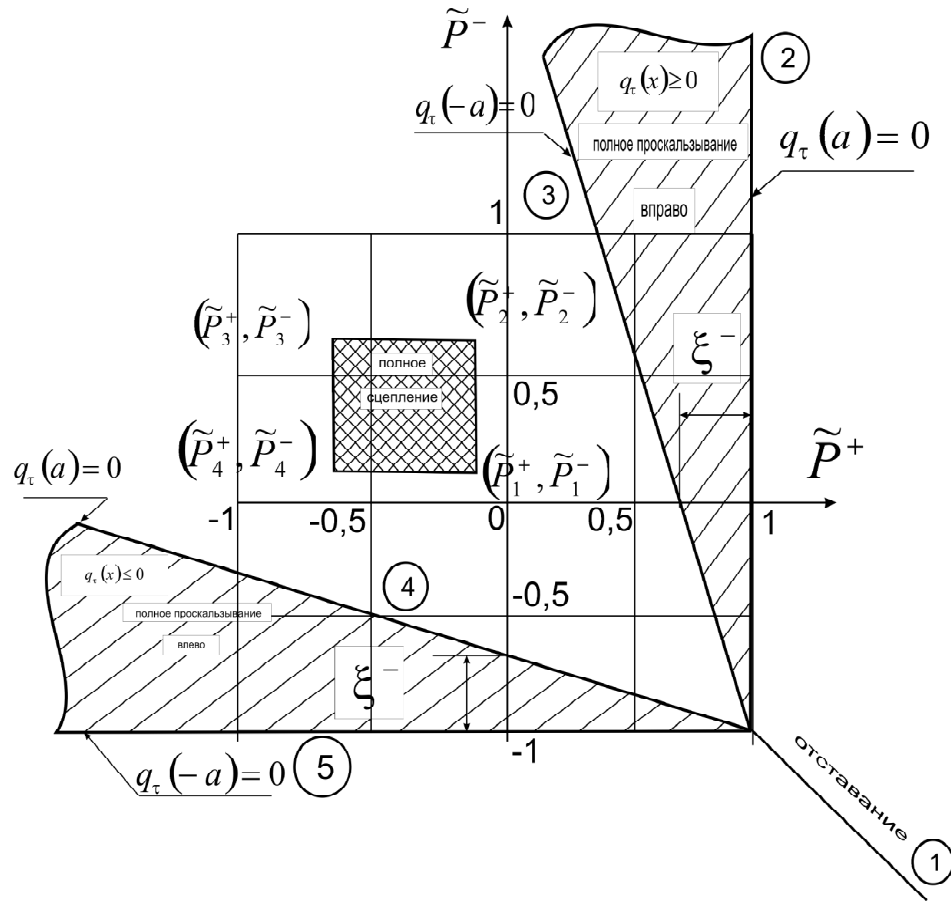


Рисунок 7

Выводы

1. Анализ параметров $\xi^\pm$ показывает, что при $a \geq 2h$ и любых реальных значениях ν и f луч 2 практически вертикален, луч 5 практически горизонтален (рис. 4, 5, 6).

2. Из вычислений следует, что при $l \geq 2h$, $f \geq 0,5$, $\nu \geq 0,4$ взаимное влияние концов пластины ничтожно, поэтому, область сцепления практически представляет собой прямоугольник, а для пластины на рисунках 2-в, 2-г – квадрат (рис. 4 – 7).

3. Для пластины, изображенной на рисунке 2-а картина полных состояний на рисунке 4. Силами $\tilde{P}^\pm$, принадлежащими лучу 2 осуществляется полное проскальзывание вправо, а силами $\tilde{P}^\pm$, принадлежащими лучу 4 осуществляется полное проскальзывание влево. Как видно, осуществить полное проскальзывание вправо только с помощью значений $\tilde{P}^-$ невозможно, а $\tilde{P}^+ \geq 1$. Область полного сцепления для параметров $\nu = 0,3$, $f = 0,4$, $a = 2h$ -

прямоугольник с координатами $\tilde{P}_1^+ = \tilde{P}_2^+ = 0,06$; $\tilde{P}_3^+ = \tilde{P}_4^+ = -0,56$; $\tilde{P}_1^- = \tilde{P}_4^- = 0,08$; $\tilde{P}_2^- = \tilde{P}_3^- = 0,62$. Для других значений ν и f эта область приобретает как другую конфигурацию, так и другое положение центра. При этом зависимость координат вершин области сцепления от f слабо нелинейная, а от ν существенно нелинейная. При увеличении ν и f площадь области растет и ее центр удаляется от начала координат.

4. Области полных состояний для пластины на рисунке 2-б (рис.5) являются зеркальным отображением соответствующих областей для пластины на рисунке 2-а (рис.4).

5. Для пластин, изображенных на рисунках 2-в, 2-г, картина полных состояний (рис.6, 7) симметрична относительно прямой $\tilde{P}^+ + \tilde{P}^- = 0$. Если ширина пластины меньше ширины штампов (рис. 2-в) – область полного проскальзывания отсутствует. Если ширина пластины больше ширины штампов, то область полного проскальзывания – заштрихованная область, ограниченная лучами 2,3,4,5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григолюк Э.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. М.: Машиностроение, 1980.
2. Наумова И.Ю. К решению контактных задач цилиндрического изгиба пластин // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Том 5. Дніпропетровськ. 1999. С. 139-150.
3. Попов Г.Я. Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов, тонких включений и подкреплений. – М.: Наука, 1982.
4. Keer L.M., Miller G.R. contact between an elastically supported circular plate and a rigid intended // Int. J. Eng. Sci. – 1983. – 21, N6. – P. 681-690.

Получено 06.04.2010г.

УДК 004-93

А.А. Егоров

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЯРКОСТИ И КОНТРАСТА

Анотація. Розглянуто вплив методики автоматизованого підвищення яскравості та контрасту на чутливість алгоритму гібридної нечіткої кластеризації sFCM, за допомогою якого виконувалась бінаризація RGB зображень залізничних вагонів з метою подальшого розпізнавання реєстраційних символів.

Введение. В настоящее время одной из актуальных практических задач является подготовка регистрационных символов для использования в автоматизированных системах учета транспортных потоков в режиме реального времени, например, номеров железнодорожных вагонов, автомобилей, контейнеров и т.п. На вход системы подаются RGB изображения реального объекта, которые получены в результате съемки стационарной цифровой камерой, при этом известно, что цвета и форма объектов, местоположение, цвет, размер и количество регистрационных символов может варьироваться. Следует также отметить, что распознаваемые символы могут располагаться в низкоконтрастных областях снимка, цвет символов или фона может быть искажен («загрязненные» номера).

Данная задача является многоплановой, при этом важными являются такие этапы, как повышение яркости и контраста, которые во многом определяют точность выполнения сегментации в процессе бинаризации, предполагающей выделение регистрационных символов.

Актуальность исследований. Т.к. предварительное перед бинаризацией повышение яркости и контраста должно производиться в автоматизированном режиме, то возникает необходимость использования методов с малым количеством управляющих параметров, которые не требуют «ручной» подстройки под каждое обрабатываемое изображение. При этом применяемые методы должны

© Егоров А.А., 2010

быть адаптивны, чтобы учитывать характеристики как изображения в целом, так и отдельных его участков, что необходимо для обработки низкоконтрастных областей на снимке. При повышении яркости следует учитывать, что метод должен в автоматизированном режиме определять необходимость своего срабатывания, а также осуществлять пропорциональное ее повышение.

Учитывая вышеописанные особенности, большинство существующих методов (гамма-коррекция, эквализация гистограмм, CLAHE и т.п.) оказываются непригодными для решения поставленной задачи. Это связано как с наличием управляющих параметров, требующих подбора в «ручном» режиме, так и с неспособностью в результате повышения контраста обеспечить выделение регистрационных номеров при последующей кластеризации с использованием малого числа кластеров.

В работе [1] был описан метод адаптивного контрастирования, который удовлетворял большинству из выдвинутых требований. Однако он имел некоторые недостатки, среди которых основным является существенное завышение яркости изображения. Среди его недостатков также можно выделить получение неоднородного фона в большинстве случаев.

Постановка задачи. В данной статье предлагается методика автоматизированного повышения яркости и контраста, являющаяся эволюционным развитием метода адаптивного контрастирования, которая позволяет устранить его основной недостаток.

Результаты исследований. Для повышения яркости и контраста в предлагаемой в данной работе методике используются следующие алгоритмы, которые могут быть применены для широкого класса фотографических изображений.

Метод адаптивного повышения яркости и контраста полутоновых изображений обеспечивает автоматизированное принятие решения о необходимости повышения яркости. Суть алгоритма заключается в пропорциональном повышении яркости изображения, которое достигается благодаря использованию степенных преобразований и статистических характеристик как изображения в целом, так и каждого его окна. Метод состоит из двух шагов.

На первом шаге производится автоматизированная оценка яркости (V) исходного изображения, которая выполняется следующим образом:

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

$$I = \frac{(\bar{I} + 0.5)}{2}, \quad (2)$$

где $\bar{i}_j$ – средняя яркость j -го окна; N_w – количество окон, которое зависит от размеров окна и изображения, причем, для повышения точности оценки размер окна рекомендуется выбирать 3x3 пикселей; $\bar{I}$ – средний уровень яркости изображения, а v_j – оценка яркости j -го окна, вычисление которой происходит следующим образом: если количество пикселей N_{il} j -го окна, яркость которых не меньше, чем i_j , больше 0 и $i_j^1 \neq 0$, то v_j вычисляется по следующим формулам:

$$v_j = (i_j)^{\left(1 - \text{sgn}(i_j^1 - i_j^2) * \frac{\min(i_j^1, i_j^2) * \bar{i}_j}{\max(i_j^1, i_j^2)} \right)^{1 + \text{sgn}(i_j^1 - i_j^2) * \bar{i}_j}}, \quad (3)$$

$$i_j = \frac{\bar{i}_j + \bar{I}}{2}, \quad (4)$$

$$i_j^1 = \bar{i}_j * \left(1 - \frac{N_{il}}{N_p} \right), \quad (5)$$

$$i_j^2 = \bar{i}_j * \frac{N_{il}}{N_p}, \quad (6)$$

где N_p – количество пикселей окна.

если $N_{il} > 0$ и $i_j^1 = 0$, то v_j определяется следующим образом:

$$v_j = (i_j)^{1 + \bar{i}_j}, \quad (7)$$

если $N_{il} = 0$, то вычисление v_j происходит по следующей формуле:

$$v_j = (i_j)^{1 - \bar{i}_j}, \quad (8)$$

Если значение $V \geq 0$, то повышение яркости для данного изображения не выполняется.

На втором этапе применения метода для каждого окна исходного изображения осуществляется повышение яркости и контраста, для чего каждый его пиксель подвергается следующему преобразованию:

$$w_{x,y}^2 = \left(w_{x,y}^1\right)^{1-(w_{x,y}^1)^{p_{x,y}^1}}, \quad (9)$$

где $p_{x,y}^1$ вычисляется по следующим формулам:

$$p_{x,y}^1 = 1 - w_{x,y}^1 + \text{sgn}(d_2) * (d_1)^{1+\text{sgn}(d_2)*(w_{x,y}^1)^{1+\text{sgn}(d_2)*d_1}}, \quad (10)$$

$$d_1 = |d_2|^{1-|d_2|}, \quad (11)$$

$$d_2 = (\bar{I})^{1-\frac{\bar{I}+\bar{i}+0.5}{3}} - (\bar{i})^{1-\frac{\bar{I}+\bar{i}+0.5}{3}} + D_I, \quad (12)$$

$$D_I = 0.5^{1-I} - \bar{I}^{1-I} + V, \quad (13)$$

где I вычисляется по формуле (2).

Метод адаптивного пространственного контрастирования обеспечивает повышение контраста на определенных участках исходного изображения, сохраняя при этом уровень интенсивности его высококонтрастных фрагментов, что достигается благодаря использованию степенных преобразований и статистических характеристик, как каждого окна, так и изображения в целом. Метод состоит из трех шагов.

На первом шаге каждое окно входного изображения подвергается следующему преобразованию:

$$w_{x,y}^2 = (w_{x,y}^1)^{(1-k_{x,y} * w_{x,y}^1)}, \quad (14)$$

где $k_{x,y}$ вычисляется следующим образом:

$$k_{x,y} = 10^{\left(\lg\left(\frac{\bar{i}}{i}\right) + w_{x,y}^1 - \bar{i}\right)} \quad (15)$$

В результате выполнения преобразования (14) 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. Однако, возможны ситуации, когда это преобразование приводит к чрезмерному сдвигу интенсивности пикселя.

Для компенсации возможного негативного влияния преобразования (14) и предназначен второй шаг, который заключается в применении следующего преобразования к текущему окну изображения:

$$w_{x,y}^3 = \left(w_{x,y}^2\right)^{p_{x,y}^1}, \quad (16)$$

где $p_{x,y}^1$ вычисляется по следующим формулам:

$$p_{x,y}^1 = \left(p_{x,y}^2\right)^{p_{x,y}^2}, \quad (17)$$

$$p_{x,y}^2 = \left| \left(1 - w_{x,y}^2\right)^{\bar{i}} + \operatorname{sgn}\left(\bar{i} - 0.5 * \max_{w_2}\right) * \left(\bar{i} - 0.5 * \max_{w_2}\right) \right|, \quad (18)$$

где $\max_{w_2}$ – максимальное значение яркости в окне w^2 .

Последний шаг предложенного алгоритма позволяет осуществить управляемую коррекцию уровня интенсивности пикселей полученного изображения с использованием статистических характеристик текущего окна и изображения в целом, для осуществления которой текущее окно подвергается такому преобразованию:

$$w_{x,y}^4 = \left(w_{x,y}^3\right)^{\left(p_a + (\bar{i})^{w_{x,y}^3}\right)}, \quad (19)$$

причем P_a вычисляется по следующей формуле:

$$P_a = \left(1 - \bar{I}\right)^{\bar{I}} + P_{add}, \quad (20)$$

где P_{add} – выбираемое эмпирически значение, позволяющее управлять уровнем яркости получаемого изображения. Это значение может выбираться на основе автоматизированной оценки яркости. Следует отметить, что отрицательные значения параметра P_{add} приводят к повышению яркости выходного изображения, а положительные – к уменьшению.

Метод адаптивной гистограммной коррекции осуществляет расширение диапазона яркости изображения, которое основано на использовании его гистограммы, что приводит к повышению контраста, а также обеспечивает некоторое повышение его яркости. Метод состоит из трех этапов.

Если выполняется условие:

$$\min_0 \neq \max_0, \quad (21)$$

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

$$h_j^2 = \left(h_j^1\right)^{1-\operatorname{sgn}(h_j^1-i_h)*(d_j)^{\left(h_j^1\right)^{d_j}}}, \quad (22)$$

где h_j^1 , h_j^2 – это элементы вектора уровней интенсивности, содержащихся в гистограмме текущего окна входного и выходного для этого этапа изображений, соответственно; значения d_j и i_h вычисляются по следующим формулам:

$$d_j = \frac{\left|h_j^1 - i_h\right|^{1-\left|h_j^1-i_h\right|}}{\max(i_h, 1-i_h)^{1-\max(i_h, 1-i_h)}}, \quad (23)$$

$$i_h = \left(\bar{i}_h\right)^{1-\operatorname{sgn}(d_1)*\left|d_1\right|^{\left(\bar{i}_h\right)^{\left|d_1\right|}}}, \quad (24)$$

$$d_1 = 0.5^{1-i} - 0.5^{\bar{i}}, \quad (25)$$

где $\bar{i}_h$ – среднее по вектору h^1 , а $i = (0.5 + \bar{i})/2$. Если же условие (21)

не выполняется, то вектор h^2 формируется следующим образом:

$$h_j^2 = h_j^1 - \min_1 + \min_0, \quad (26)$$

где значение $\min_1$ в случае, когда выполняется условие:

$$\min_0 \neq 0, \quad (27)$$

вычисляется по следующим формулам:

$$\min_1 = \left(\min_0\right)^{1+(d_{\min})^{(\min_0)^{d_{\min}}}}, \quad (28)$$

$$d_{\min} = \frac{\left|\bar{i} - \min_0\right|^{1-\left|\bar{i}-\min_0\right|}}{i_{\max}}, \quad (29)$$

$$i_{\max} = \max(\bar{i}, 1-\bar{i})^{1-\max(\bar{i}, 1-\bar{i})} \quad (30)$$

В случае, когда условие (27) не выполняется, то $\min_1 = 0$.

Для текущего окна входного для этого этапа изображения в случае выполнения условия $r > 1$, где r вычисляется следующим образом:

$$r = \frac{\mathbf{max}_1 - \mathbf{min}_1}{h_{\max}^2 - h_1^2}, \quad (31)$$

где $h_{\max}^2$ и h_1^2 – первый и последний элементы вектора h^2 , а значение $\mathbf{max}_1$, в случае, когда выполняется условие $\mathbf{max}_0 \neq 1$, вычисляется так:

$$\mathbf{max}_1 = (\mathbf{max}_0)^{1 - (d_{\max})^{(\mathbf{max}_0)^{d_{\max}}}}, \quad (32)$$

$$d_{\max} = \frac{|\bar{i} - \mathbf{max}_0|^{1 - |\bar{i} - \mathbf{max}_0|}}{i_{\max}}, \quad (33)$$

а в противном случае $\mathbf{max}_1 = 1$, производится масштабированное расширение гистограммы этого окна по следующей формуле:

$$h_j^3 = h_j^2 * r^2 - \frac{h_1^2 * (r^2 - 1)}{2}, \quad (34)$$

где h_j^2 , h_j^3 – это элементы вектора уровней интенсивности, содержащихся в гистограмме текущего окна входного и выходного для этого этапа изображений, соответственно.

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.

Следует отметить, что в предложенном методе выполняется двухшаговое расширение диапазона уровней яркости текущего окна: пропорциональное повышение уровней яркости с использованием степенных преобразований и, в случае необходимости, дальнейшее расширение диапазона уровней яркости за счет масштабирующего преобразования.

Методика автоматизированного повышения яркости и контраста, предлагаемая в данной работе, включает следующие этапы.

Если входное изображение является цветным, то выполняется переход к полутоновому изображению путем вычисления среднего между средним и максимальным значениями по цветовым каналам

для каждого пикселя и отображение значений яркости на отрезок $[0..1]$.

К полученному после предыдущего этапа изображению применяется метод адаптивной гистограммной коррекции, причем размерность окна выбирается 8×8 пикселей.

Применяется метод адаптивного повышения яркости и контраста полутоновых изображений. Размерность окна при этом должна быть сопоставима с размером самого мелкого текста, который необходимо будет впоследствии распознавать и выбирается эмпирически.

Если на предыдущем шагу было выполнено повышение яркости и контраста, то для полученного после предыдущего шага изображения применяется метод адаптивного пространственного контрастирования (повышение контраста производится независимо от значения автоматизированной оценки его уровня у обрабатываемого изображения), при этом размерность окна выбирается 3×3 пикселя, а параметр $P_{add} = P_{add}^2$, причем значение P_{add}^2 вычисляется по формуле:

$$P_{add}^2 = \left| P_{add}^1 \right|^{1 - |P_{add}^1|}, \quad (35)$$

$$P_{add}^1 = \left| P_{add}^0 \right| + I^{1-\bar{I}} - I^I, \quad (36)$$

где I вычисляется по формуле (2), а P_{add}^0 вычисляется так:

$$P_{add}^0 = \sum_{j=1}^{N_w} v_j, \quad (37)$$

где значение v_j вычисляется по формуле (3) для изображения, полученного после выполнения второго шага.

Если же повышение яркости и контраста на предыдущем шагу не выполнялось, то дальнейшая обработка изображения производится следующим образом:

Применяется метод адаптивной гистограммной коррекции, причем размерность окна зависит от обрабатываемых изображений и выбирается эмпирически на основе размера самого маленького текста, который впоследствии должен быть распознан.

К полученному после выполнения предыдущего шага изображению применяется метод адаптивного пространственного контрастирования (повышение контраста производится независимо от значения автоматизированной оценки его уровня у обрабатываемого

изображения), при этом размерность окна выбирается 3x3 пикселя, а параметр $P_{add} = P_{add}^1$, причем P_{add}^1 вычисляется следующим образом:

$$P_{add}^1 = -|P_{add}^0|^{1-|P_{add}^0|}, \quad (38)$$

где P_{add}^0 вычисляется по формуле (37), причем автоматизированная оценка яркости при этом выполняется для изображения, полученного после выполнения второго шага.

Экспериментальные результаты были получены на примере обработки RGB снимков железнодорожных вагонов размерностью 1600x1200 пикселей, примеры которых представлены на рис. 1. Изображение, представленное на рис. 1 а, содержит практически неразличимый регистрационный номер, расположенный в левом нижнем углу. У изображения на рис. 1 б несколько цифр регистрационного номера, нанесенного крупными символами, слабо различимы из-за искажения цвета фона, что вызвано просыпанным цементом. Таким образом, это изображение содержит так называемый «загрязненный» номер.

Повышение яркости и контраста производилось при помощи:

предложенной в этой работе методики, причем размеры окон в адаптивных методах, применяемых на этапах 3 и 5, были выбраны 15x15 и 36x36 пикселей, соответственно;

метода адаптивного контрастирования, причем размеры окон для каждого из его этапов были выбраны 15x15, 3x3 и 9x9 пикселей, соответственно, а параметр $P_{add} = -0.05$.

На рис. 2 а, 2 б представлены результаты повышения яркости и контраста снимка на рис. 1. а при помощи предложенной в данной работе методики и метода адаптивного контрастирования, соответственно. Следует отметить четкое выделение крупных и мелких (в нижнем левом углу снимка) регистрационных символов на изображении, что обеспечивают оба рассмотренных подхода. Однако в случае применения предложенной в данной работе методики отсутствует чрезмерное повышение яркости (в правой и верхней частях снимка) и неоднородный фон.

Бинаризация изображений выполнялась с помощью алгоритма гибридной нечеткой кластеризации sFCM [2], причем были выбраны следующие значения управляющих параметров: количество нечетких кластеров $c = 3$ (т.к. регистрационные символы могут иметь

различный цвет в пределах одного снимка), параметр $m = 2$, пороговое значение $\varepsilon = 10^{-5}$, максимальное количество шагов обучения – 2, параметр $N = 2$; для увеличения количества кластеров использовался метод пропорционального распределения [3], получение исходного числа нечетких кластеров после применения карты Кохонена осуществлялось путем выбора с кластеров с максимальным количеством относящихся к ним (имеющих минимальное Евклидово расстояние) экземпляров исходных данных.



а

б

Рисунок 1 - Исходные цветные изображения: а – без «загрязнений» регистрационных символов; б – с «загрязнениями» регистрационных символов



а

б

Рисунок 2 - Повышение яркости и контраста изображения на рис. 1 а: а – предложенной в данной работе методикой; б – методом адаптивного контрастирования

Результаты нечеткой кластеризации изображений на рис. 2 приведены на рис. 3, 4. Все регистрационные символы в обоих случаях были четко выделены.



Рисунок 3 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 2 а

На рис. 5 а, 5 б представлены результаты повышения яркости и контраста снимка на рис 1. б при помощи предложенной в данной работе методики и метода адаптивного контрастирования, соответственно. Применение предложенной в данной работе методике за счет выполнения пропорционального повышения яркости позволило четче выделить «загрязненный» номер, по сравнению с методом адаптивного контрастирования.



Рисунок 4 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 2 б

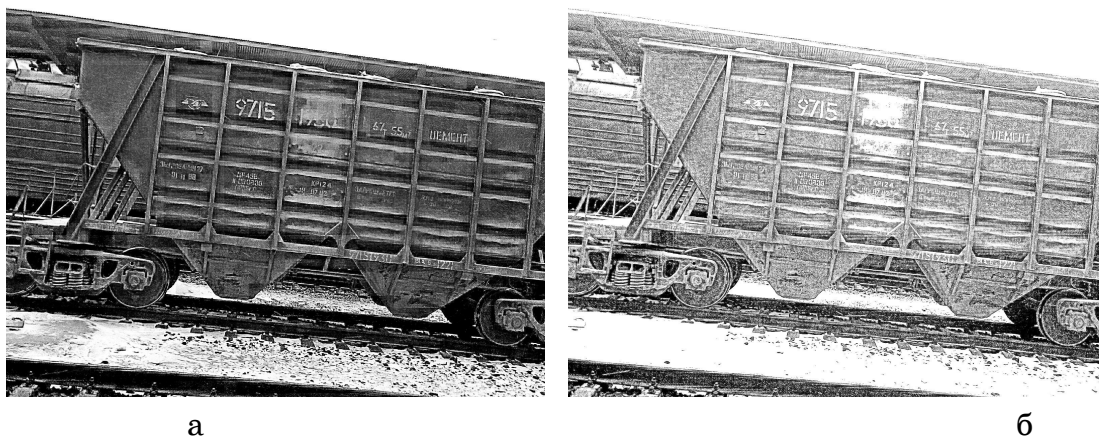


Рисунок 5 - Повышение яркости и контраста изображения на рис. 1 б: а – предложенной в данной работе методикой; б – методом адаптивного контрастирования

Результаты нечеткой кластеризации изображений на рис. 5 приведены на рис. 6, 7. Следует отметить, более четкое выделение регистрационных символов «загрязненного номера» в результате бинаризации изображения, полученного после применения предложенной в данной работе методики (рис. 6). В то же время в результате бинаризации изображения, полученного после применения метода адаптивного контрастирования (рис. 7) различима только первая половина «загрязненного» номера, которая не подверглась искажению.



Рисунок 6 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 5 а

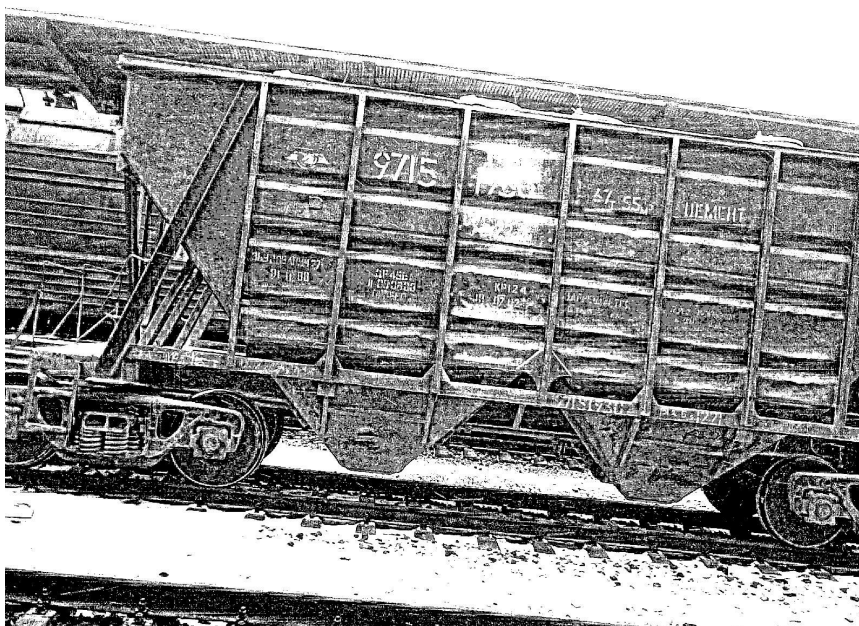


Рисунок 7 - Результаты нечеткой кластеризации методом sFCM изображения на рис. 5 б

Выводы. Предложенная методика автоматизированной модификации яркости и контраста позволяет повысить чувствительность кластеризации, применяемой в процессе бинаризации изображения. Достоинствами методики является осуществление пропорционального повышения яркости, необходимость которого определяется на основе ее автоматизированной оценки и получение более однородного фона. Среди недостатков методики следует выделить ее большую вычислительную сложность по сравнению с методом адаптивного контрастирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.А. Метод адаптивного контрастирования мультиспектральных изображений для повышения достоверности нечеткой кластеризации / Егоров А.А. // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3. – С. 306 – 314.
2. Ахметшина Л.Г. Сегментация низко контрастных изображений алгоритмом гибридной кластеризации SOM-FCM / Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. // Системні технології. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 2 (55). – С. 34 – 40.
3. Егоров А.А. Повышение чувствительности гибридной нечеткой кластеризации на основе формирования центроидов пропорционально расстояниям в q-мерном пространстве / Егоров А.А. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – 2009. – Вип. 24. – С. 193 – 198.

УДК 620.179

А.И. Федорович

КРИТЕРИЙ БУША-ВИНДА В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Исследуются изменения статистических закономерностей критерия непараметрической статистики Буша-Винда, чувствительность критерия к изменениям сдвига и масштаба выборок, содержащих информацию о состоянии технических объектов, контроль и мониторинг которых проводится в условиях полного незнания законов распределения вероятности и ограничений на объем измерений.

Ключевые слова: выборка измерений, непараметрическая статистика, критерий, вероятностные характеристики, сдвиг, масштаб.

Постановка задачи

Информация о состоянии технических линейно-протяженных объектов контроля содержится в выборках измерений параметров, которые изменяются во времени, и их статистические закономерности неизвестны. В задачах наблюдения за их состоянием (мониторинга) объекты периодически контролируются, выборки измерений сравниваются и по результатам сравнения должны приниматься решения о степени опасности изменений состояния объектов. В работе [1] показано, что для этих целей можно использовать критерии непараметрической статистики сдвига и масштаба, в частности критерий Буша-Винда. Его статистические закономерности известны при сравнении двух однородных выборок и неизвестны, если в выборках изменились параметры или законы распределения вероятности. Учитывая трудности аналитического исследования статистических закономерностей при сравнении неоднородных выборок, эта задача решалась на основе результатов вычислительных экспериментов путем моделирования и сравнения выборок случайных величин с различными законами распределения вероятности и различными параметрами. Цель исследований – оценить статистические закономерности критерия Буша-Винда при сравнении неоднородных выборок.

Критерии Буша-Винда в задачах проверки гипотез о равенстве параметров сдвига и масштаба.

Критерий Буша-Винда, предназначенный для проверки гипотезы о равенстве неизвестных математических ожиданий и дисперсий двух выборок измерений, является комбинацией аналогов критериев Ван-дер-Вардена S и Клотца T

$$S = \sqrt{2\left(2 - \frac{1}{n}\right)} \frac{\sum_{i=1}^n \Psi\left[\frac{R(x_{2i})}{2n+1}\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{2n} \Psi^2\left[\frac{i}{n+1}\right]}},$$

$$T = \sqrt{2\left(2 - \frac{1}{n}\right)} \frac{\sum_{i=1}^n \Psi^2\left(\frac{R(x_{2i})}{2n+1}\right) - \sum_{i=1}^{2n} \Psi^2\left(\frac{i}{2n+1}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{2n} \Psi^4\left(\frac{i}{2n+1}\right)}}, \quad (1)$$

где $R(x_{2i})$ - ранг i -ого измерения x_{2i} второй выборки в объединенной выборке измерений $R(x_{2i}) = \sum_{j=1}^n \text{sign}(x_{2i} - \xi_j)$, $\xi_1 > \xi_2 > \dots > \xi_{2n-1} > \xi_{2n}$.

Критерий Буша-Винда W равен комбинации критериев S и T вида

$$W = -2 \ln \left[2(1 - \Phi(|S|)) - 2 \ln \left[2(1 - \Phi(|T|)) \right] \right],$$

где $\Phi(x)$ - интеграл вероятности Гаусса, для вычисления которого можно применить аппроксимацию

$$\Phi^*(x) = 1 - 0.852 \exp \left[- \left(\frac{x + 1.5774}{2.0637} \right)^{2.34} \right], \quad x \geq 0, \quad \Phi^*(-x) = 1 - \Phi^*(x), \quad (2)$$

$\Psi(z)$ - функция, обратная интегралу вероятности Гаусса, для которой можно применить аппроксимацию вида

$$\Psi(z) = 4.91 \left(z^{0.14} - (1-z)^{0.14} \right) \quad (3)$$

Показатели Буша-Винда W являются случайными величинами и при $n > 30$ справедлива модель их статистических закономерностей законом распределения хи-квадрат с четырьмя степенями свободы, если законы распределения, математические ожидания и дисперсии

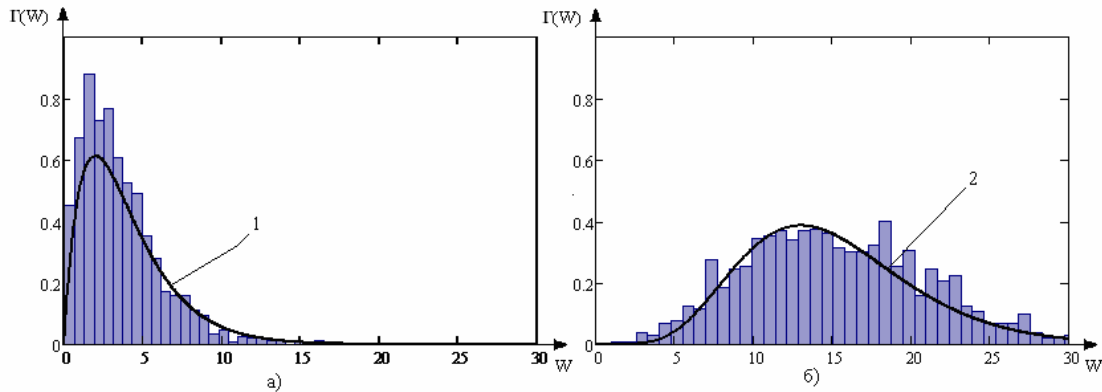
двух сравниваемых выборок равны. В этом случае с вероятностью $P = 0,95$ будет выполняться неравенство $W \leq 9,5$.

Для проведения исследований была разработана компьютерная модель формирования выборок измерений с различными законами распределения вероятностей с заданными параметрами. Путем сравнения этих выборок оценивалась статистика критерия Буша-Винда. Моделировались выборки случайных величин с симметричными, слабо и сильно асимметричными законами распределения Гаусса, Релея и экспоненциальным. Изменялись размеры выборок, их параметры, исследовались гистограммы критерия Буша-Винда, оценивались математические ожидания и дисперсии.

Статистика критерия Буша-Винда при сравнении неоднородных выборок.

По результатам вычислительных экспериментов установлено, что критерий Буша-Винда является критерием однородности сравниваемых выборок случайных величин, так как его статистика меняется не только при измерении сдвига и масштаба, но и при изменении только вида закона распределения при нулевом сдвиге и масштабе [1]. Следовательно, критерий Буша-Винда можно использовать в задачах оценки неоднородности двух выборок без знания их статистических закономерностей.

Известно, что если две исследуемые выборки случайных величин имеют одинаковые законы распределения вероятностей и одинаковые параметры сдвига и масштаба, то независимо от вида этих законов критерий Буша-Винда как случайная величина имеет закон распределения хи-квадрат с четырьмя степенями свободы. Гистограммы показателя Буша-Винда при сравнении однородных (а) и неоднородных (б) со сдвигом $\frac{\Delta a}{\sigma_1} = 0,8$ выборок с нормальными законами распределения вероятностей при единичных дисперсиях показаны на рис.1.

Рисунок 1 – Гистограммы показателя Буша-Винда ($n = 30$)

На рис. 2 представлены гистограммы показателя Буша-Винда при сравнении нормальных выборок с нулевым сдвигом и изменяющимися дисперсиями (а), и с изменением как математического ожидания $\Delta a / \sigma_1 = 0,8$, так и дисперсии $\Delta \sigma / \sigma_1 = 0,8$ (б).

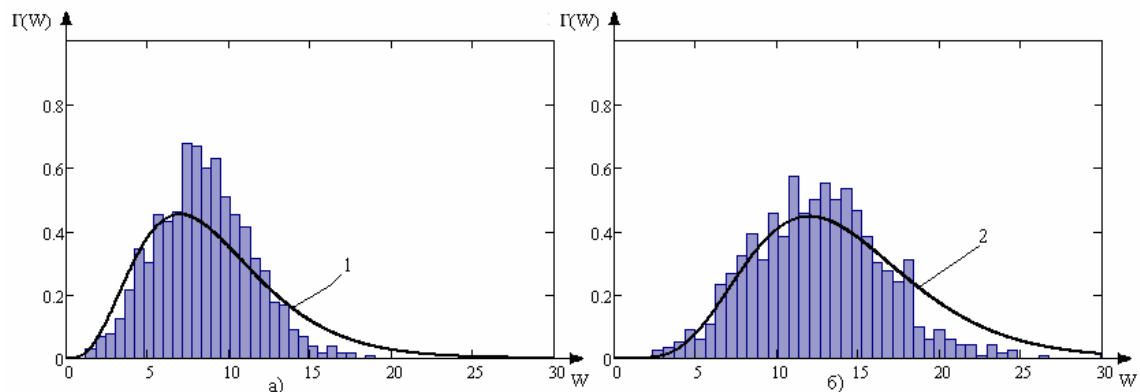


Рисунок 2 - Гистограммы критерия Буша-Винда

На рис. 3 показаны гистограммы показателя Буша-Винда для выборок с экспоненциальным (3а) и релеевским (3б) распределением.

С изменением сдвигов $\Delta a / \sigma_1 = \Delta \lambda / \lambda_1 = 0,8$;

$$\Delta a / \sigma_1 = \sqrt{\frac{\pi}{4 - \pi}} \left(\sqrt{\frac{b_2}{b_1}} - 1 \right) = 0.654, \quad \text{и масштабов} \quad \Delta \sigma / \sigma_1 = \Delta \lambda / \lambda_1 = 0,8;$$

$$\Delta \sigma / \sigma_1 = \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = 0.745.$$

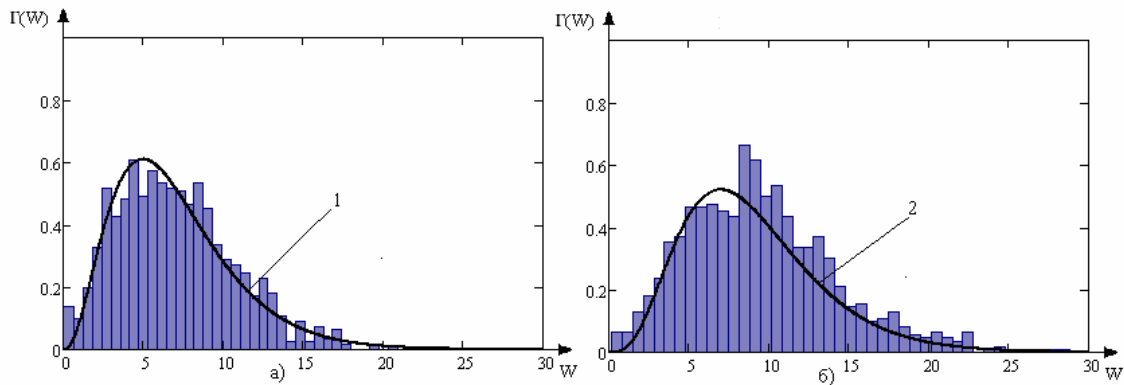


Рисунок 3. – Гистограммы показателя Буша-Винда для выборок с экспоненциальным (а) и релеевским (б) распределением

На рис.1,2,3 показаны графики закона распределения вероятности хи-квадрат для однородных выборок (рис.1а) и неоднородных выборок (рис. 1б, 2, 3). Параметр закона распределения вероятности хи-квадрат (степень свободы N) выбран по максимуму гистограммы ($W_{\max} = N - 2$). В данном случае число степеней свободы на рис.1а равно 4, $N=12$ (рис.1б); $N=8$ (рис.2а); $N=13$ (рис.2б); $N=6$ (рис.3а); $N=8$ (рис.3б). Гипотеза о виде закона распределения вероятности критерия W проверялась по критерию хи-квадрат. Показатель хи-квадрат для выборок с нормальным законом $z = 38,97$, с релеевским - $z = 64,652$, с экспоненциальным - $z = 47,843$ при пороговом значении $z_0 = 70,952$.

Проведен анализ зависимости средних значений $M^*[W] = \bar{W}$, и средне квадратичных отклонений $\sqrt{D^*[W]}$ критерия Буша-Винда при сравнении выборок с различными степенями неоднородности. В таблице 1 приведены эти данные для нормальных выборок размером $n = 30$, полученные путем обработки результатов вычислительных экспериментов (1000 реализаций).

Для однородных выборок математическое ожидание $M[W]$ и дисперсия $D[W]$ показателя Буша-Винда при $n > 30$ равны 4 и 8 соответственно. По результатам экспериментов оценки математических ожиданий и среднеквадратичные отклонения несколько меньше теоретических значений (4 и 2,83).

При изменении сдвига в 2 раза среднее значение показателя $\bar{W}$ увеличилось с 3,68 до 19,21 (примерно в 5 раз),

среднеквадратичное значение изменилось примерно в 1,8 раза. При увеличении масштаба в 2 раза, среднее значение изменяется с 3,62 до 9,46 (в 3 раза), среднеквадратическое значение практически не изменилось (2,58 и 2,89). При одновременном изменении сдвига и масштаба в 2 раза эти показатели увеличились в 3 и 1,5 раза.

Таблица 1

$\Delta a / \sigma_1$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\bar{W}$	3,68	4,12	5,12	6,43	7,64	9,37	11,02	13,12	15,42	17,32	19,21
$\sqrt{D^* [W]}$	2,50	2,81	3,52	4,04	4,51	4,85	5,23	5,64	5,95	6,19	6,4
$\Delta \sigma / \sigma_1$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\bar{W}$	3,62	3,79	1,30	4,98	5,62	6,28	6,98	7,78	8,27	8,90	9,46
$\sqrt{D^* [W]}$	2,58	2,58	2,67	2,78	2,81	2,83	2,86	2,97	2,87	2,84	2,89
$\Delta a / \sigma_1$ $\Delta \sigma / \sigma_1$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\bar{W}$	3,88	4,29	4,81	5,65	6,40	7,34	8,31	9,16	9,87	10,76	14,71
$\sqrt{D^* [W]}$	2,63	2,90	2,93	3,27	3,31	3,57	3,65	3,84	3,59	3,77	3,91

В таблицах 2 и 3 приведены результаты вычислительных экспериментов для экспоненциального и релеевского распределения вероятности соответственно, из которых следует, что среднее значение и среднеквадратичное отклонение показателя Буша-Винда примерно так же как и для нормальных выборок.

Таблица 2

$\Delta a / \sigma_1$ $\Delta \sigma / \sigma_1$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\bar{W}$	3.6 7	3.5 9	3.7 7	4.01	4.51	5.06	5.60	6.11	6.87	7.55	7.9 9
$\sqrt{D[W]}$	2.4 0	2.5 2	2.3 6	2.56 5	2.78 5	3.10 2	3.30 8	3.39 7	3.49 3	3.69 2	4.0 3

Таблица 3

$\Delta a / \sigma_1$ $\Delta \sigma / \sigma_1$	0 0	0.093 0.316	0.183 0.447	0.268 0.548	0.351 0.632	0.43 0.707	0.507 0.775	0.581 0.837	0.724 0.949	0.792 1
$\bar{W}$	3,61	4,11	4,75	5,47	6,087	6,991	7,94	8,667	10,32	11,37
$\sqrt{D[W]}$	2,49	2,81	3,03	3,753	3,877	4,106	4,19	4,492	4,872	4,882

Поскольку релеевское и экспоненциальное распределения являются однопараметрическими, то при изменении значения параметра в 2 раза одновременно изменятся сдвиг и масштаб. Для экспоненциального распределения значение показателя и дисперсии также увеличивается в 2 раза. Для релеевского распределения значения показателя изменяется в 3 раза, а его дисперсия в 2 раза.

Чувствительности критерия Буша-Винда к изменению параметров сравниваемых выборок

Путем проведения вычислительных экспериментов исследовалась чувствительность критерия как зависимость среднего значения показателя $\bar{W}$ от изменения сдвига и масштаба для выборок различной длины (n). На рис. 4 представлены зависимости среднего значения критерия Буша-Винда $\bar{W}$ от сдвига для выборок с нормальным распределением. Зависимость показателя Буша-Винда от изменения сдвига можно описать линейной моделью вида $\bar{W} = a + b \frac{\Delta a}{\sigma_1}$ при $\frac{\Delta a}{\sigma_1} > 0.2$. Значения коэффициентов a, b приведены в таблице 4.

Таблица 4

n	10	20	30	50	100
a	4,199	2,411	2,841	1,623	1,276
b	0,345	4,498	7,31	12,5	24,982

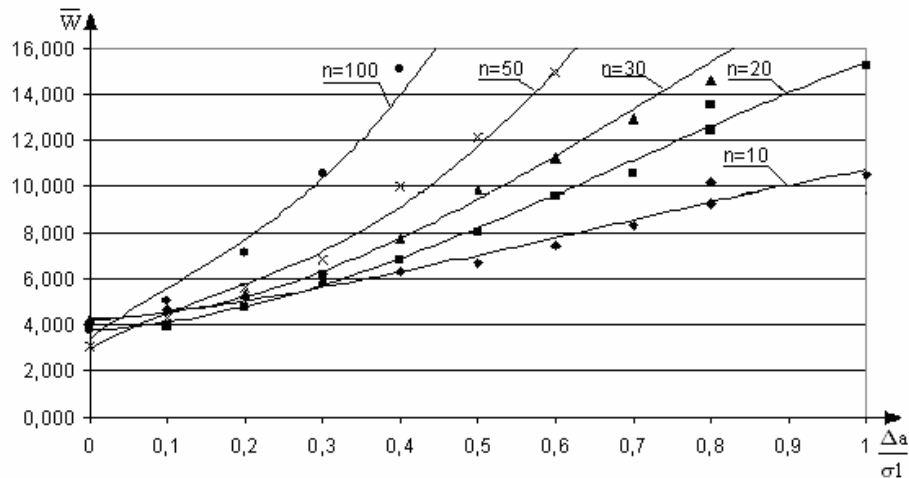


Рисунок 4 – Кривые чувствительности критерия Буша-Винда для выборок с нормальным распределением при изменении сдвига

Такие же эксперименты были проведены для нормальных выборок при изменении масштаба. Зависимости полученные в результате этих экспериментов, приведены на рис.5.

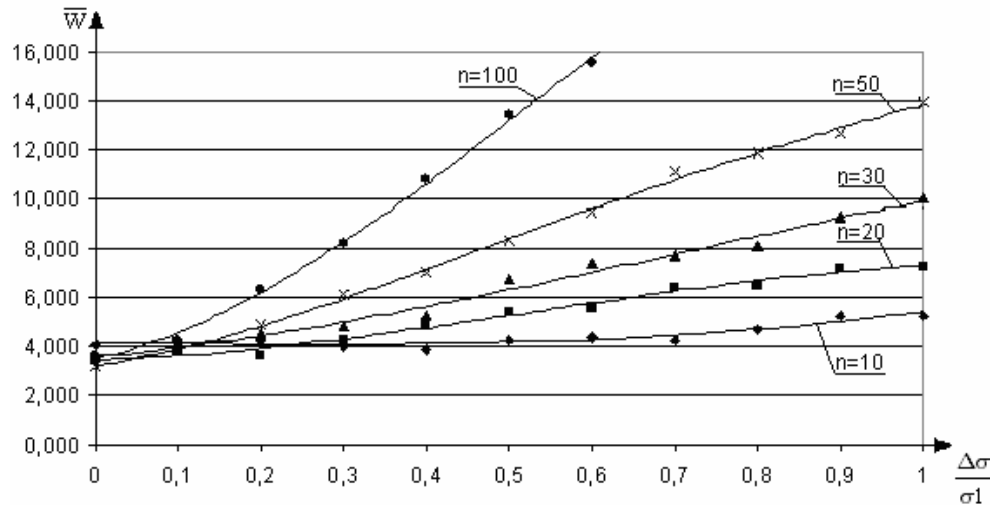


Рисунок 5 – Кривые чувствительности критерия Буша-Винда для выборок с нормальным распределением при изменении масштаба

Критерий Буша-Винда гораздо чувствительней к изменениям сдвига, чем к изменениям масштаба. При изменении сдвига даже на коротких выборках ($n = 10$) наблюдается превышение показателем $\bar{W}$ порогового значения W_0 .

На рис. 6 приведены зависимости чувствительности при одновременном изменении сдвига и масштаба нормальных случайных величин.

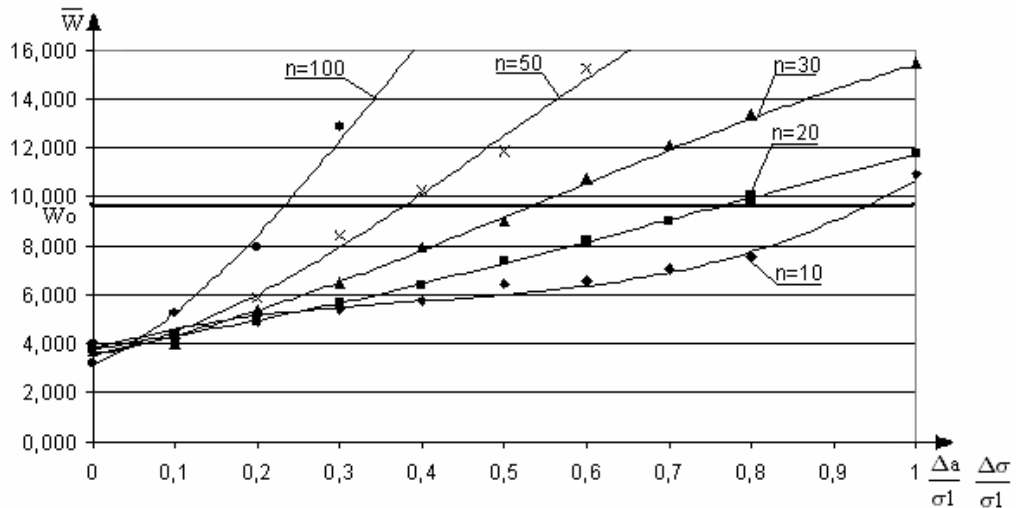


Рисунок 6 – Кривые чувствительности критерия Буша-Винда для выборок с нормальным распределением при изменении сдвига и масштаба

Аналогичные данные были получены при вычислительных экспериментах с выборками других симметричных и асимметричных

законов распределения вероятностей. Установлено, что чувствительность критерия непараметрической статистики Буша-Винда зависит не только от объема выборок измерений, но и от вида закона распределения вероятности.

Выводы

1. Критерий Буша-Винда как показатель однородности выборок случайных величин может использоваться для оценки степени неоднородности измерений при неизвестных законах распределения вероятности и их параметров в задачах мониторинга технических объектов.

2. Критерий Буша-Винда является случайной величиной и моделью его статистических закономерностей может служить закон распределения хи-квадрат при сравнении как однородных, так и неоднородных выборок измерений.

3. Для неоднородных выборок число степеней свободы закона хи-квадрат зависит от размеров сравниваемых выборок и степени различия их параметров, и его значение примерно равно среднему значению $\bar{W}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малайчук В.П., Лысенко Н.А., Федорович А.И. Критерии непараметрической статистики Клотца и Буша-Винда в задачах периодического контроля технических объектов.// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (67) - Днепропетровск, 2010.-с.198-205.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика/ А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2006. – 816 с.
3. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Математическая дефектоскопия: Монография. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005, - 180 с.

Получено 09.04.2010г.

УДК 681-513

Ю.В. Яцук, О.С. Макаренко

СИСТЕМИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ТИПУ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕДБАЧЕННЯ

Аннотация. В работе предложена и реализованная одна из моделей нейросетей, которая учитывает свойство влияния опережения. В качестве базовой модели исследованная сеть типа Хопфилдовской. Основными принципиально новыми качествами, обнаруженными при исследовании есть то, что возможны многозначные решения данной нейросети. Исследованные разные типы поведения таких систем в зависимости от параметров.

1. Вступ

В процесі дослідження і моделювання живих систем чи систем, що включають живі організми; соціально-економічних систем, з'являється все більше нових типів моделей, що намагаються правильно відобразити все більший спектр властивостей таких систем. Одним з таких класів моделей є нейронні мережі (в тому числі штучні). У зв'язку з нашими дослідженнями подібних систем [1-3] виникла необхідність у дослідженні одного нового класу таких мереж – а саме мереж, що відображають у певній мірі властивість передбачення [4, 5] в соціально-економічних та живих системах, коли враховується можливість певних станів в майбутні моменти часу.

У зв'язку з цим в данній роботі приводиться опис однієї такої моделі з класу нейромереж типу Хопфілда [6], властивості та динаміку її розв'язків, режими, що встановлюються в роботі системи, а також можливі інтерпретації і застосування отриманих результатів.

1.1 Класична модель

Розглянемо розповсюджену модель рекурентних мереж, запропоновану Хопфілдом [6]. Структурна схема мережі типу Хопфілда добре відома. Вона складається з шару нейронів, число яких є одночасно числом входів і виходів мережі. Кожний нейрон має зв'язки з усіма іншими.

Стан мережі на кожному кроці ітерації описується вектором $x(i) \in R^N$, де N - кількість нейронів. Зв'язки між нейронами задані

матрицею W , з елементами w_{ij} , де $i, j=1, \dots, N$. Для кожного нейрона визначається величина зовнішнього поля взаємодії:

$$s_j = \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i \quad (1)$$

Еволюційний процес, який відбувається у мережі, описується наступним рекурентним співвідношенням:

$$x_j(n+1) = f(s_j) = f\left(\sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n)\right) \quad (2)$$

де $x_j = f(s_j)$ - функція активації, що в обрахунках бралася кусково-лінійною:

$$\begin{cases} f(x) = 0, x \leq 0; \\ f(x) = x, x \in (0, 1]; \\ f(x) = 1, x > 1; \end{cases} \quad (3)$$

1.2 Нейромережа з передбаченням

В запропонованій моделі у функцію величини зовнішнього поля взаємодії введено також залежність від прогнозованого значення, яке може бути отримане на даному ітераційному кроці. Цю залежність може бути або як:

$$s_j(n) = \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n) + \alpha \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n+1) \quad (4)$$

або

$$s_j(n) = (1 - \alpha) \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n) + \alpha \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n+1) \quad (5)$$

Рекурентне співвідношення (2) даної моделі набуває наступного вигляду після підставлення в нього формул (4) і (5):

$$x_j(n+1) = f\left(\sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n) + \alpha \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n+1)\right) \quad (6)$$

$$x_j(n+1) = f\left((1 - \alpha) \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n) + \alpha \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i(n+1)\right) \quad (7)$$

Отже, ми отримали систему нелінійних рівнянь відносно невідомого вектора $x(n+1)$, розв'язки якої і будуть виходами нейронного прошарку. На наступній ітерації процесу на прошарок буде подаватися по черзі окремо один від одного кожен вихід попереднього прошарку.

Знаходження розв'язків систем рівнянь (5) і (6) в даній моделі здійснювалось на основі наступних припущень

$$w_{jj} = 0, \forall j = 1, \dots, N, \quad \alpha > 0 \quad (8)$$

Позаяк $f(x)$ сигмоїдальна кусково-лінійна функція, то розглянувши 3 різні можливі значення (6) і (7), отримаємо 3^N систем лінійних рівнянь, кожену з яких можна розв'язати одним з відомих чисельних методів. Після розв'язку кожного з таких рівнянь необхідно перевіряти, чи підходить розв'язок для даної систми.

2. Числова реалізація моделі

Для дослідження властивостей та динаміки даної моделі обиралися довільні матриці вагових коефіцієнтів і на вхід системи подавалися різні вхідні значення. При роботі мережі з двома нейронами виникають такі режими, як однозначна стабільність, однозначна циклічність, багатозначна стабільність, багатозначна циклічність. Однозначні випадки виникають переважно при малому коефіцієнті передбачення, коли система майже втрачає властивість передбачення. Розглянемо випадок багатозначної циклічності (Рисунок 1). На рисунку кількість стрілочок відповідає кількості значень, а їх довжина відповідає значенню розв'язка.

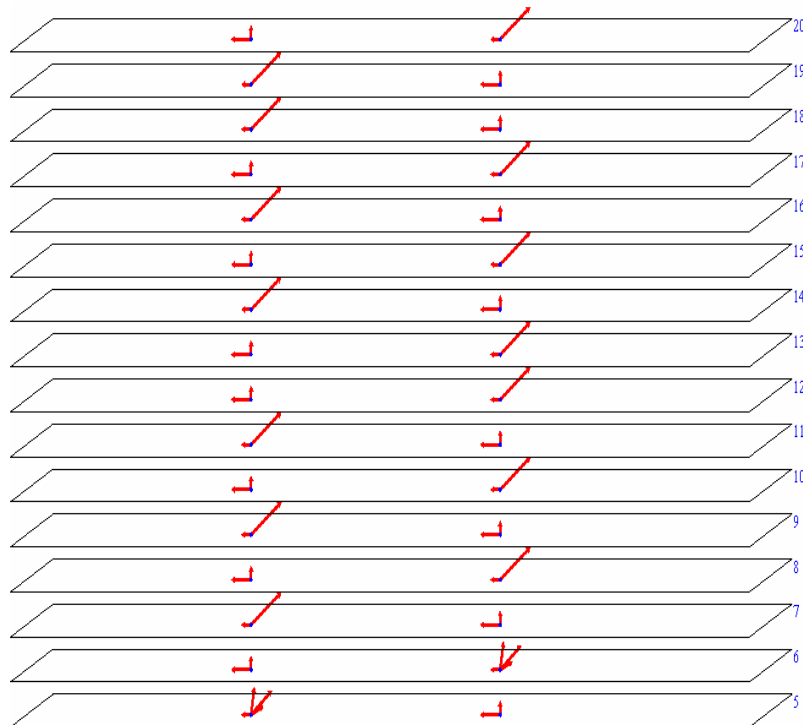


Рисунок 1 - Багатозначна циклічність при $\alpha = -7$.
(Цифри – номер ітерації)

Наведемо динаміку нейронів (по горизонталі – номер кроку за часом):

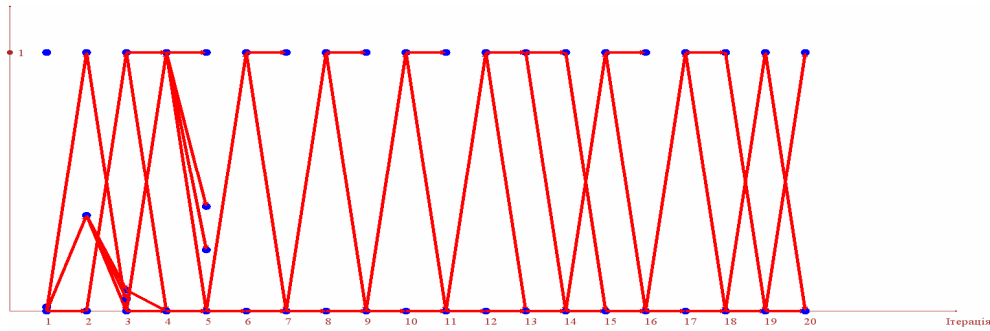


Рисунок 2 - Динаміка першого нейрону

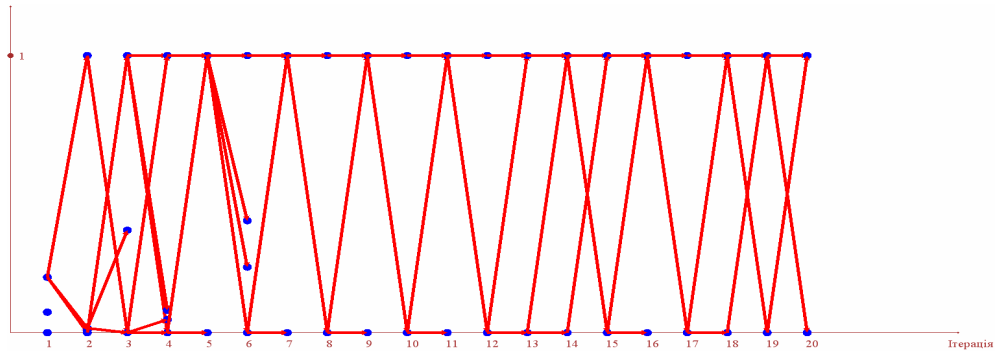


Рисунок 3 - Динаміка другого нейрону

При функціонуванні мережі з багатьма нейронами, виникають ще й такі режими, як розростання кількості розв'язків та циклічність, в якій окремі нейрони поведуть себе багатозначно, а окремі однозначно. Розглянемо такий випадок.

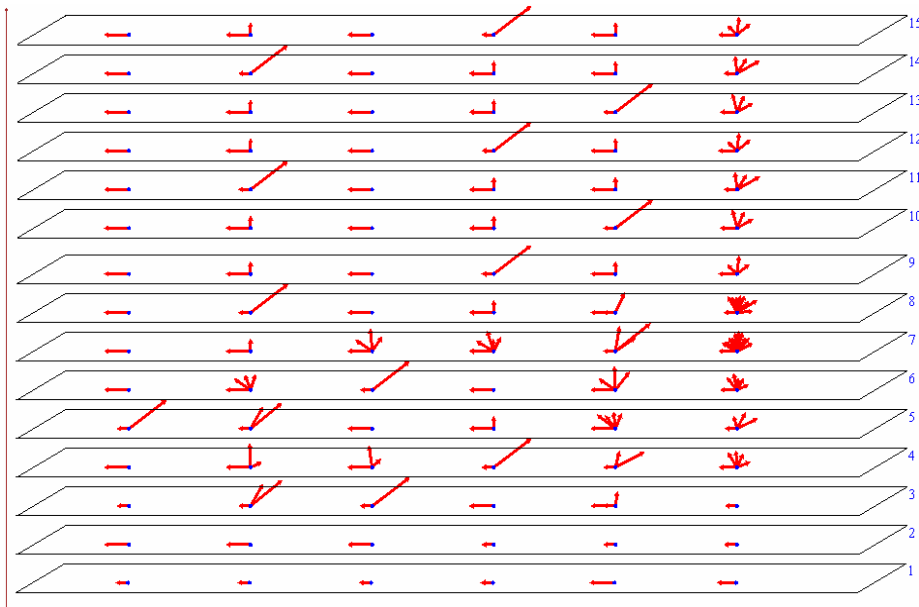


Рисунок 4 - Циклічність при $\alpha = - 0.7$

Наведемо динаміку поведінки деяких нейронів:

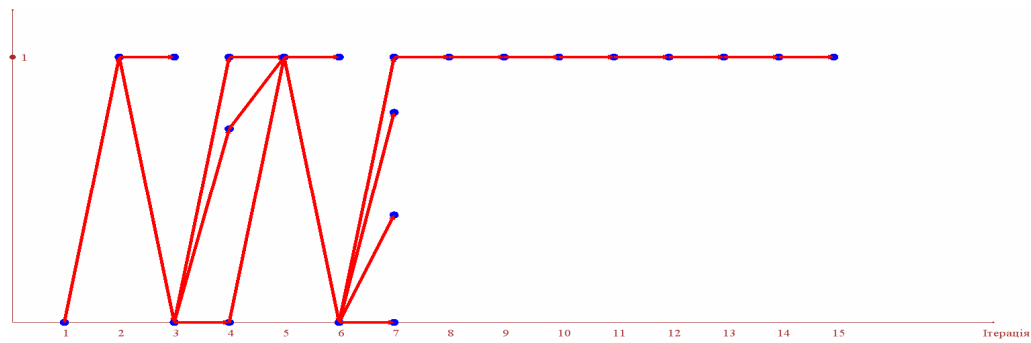


Рисунок 5 - Динаміка поведінки третього нейрону

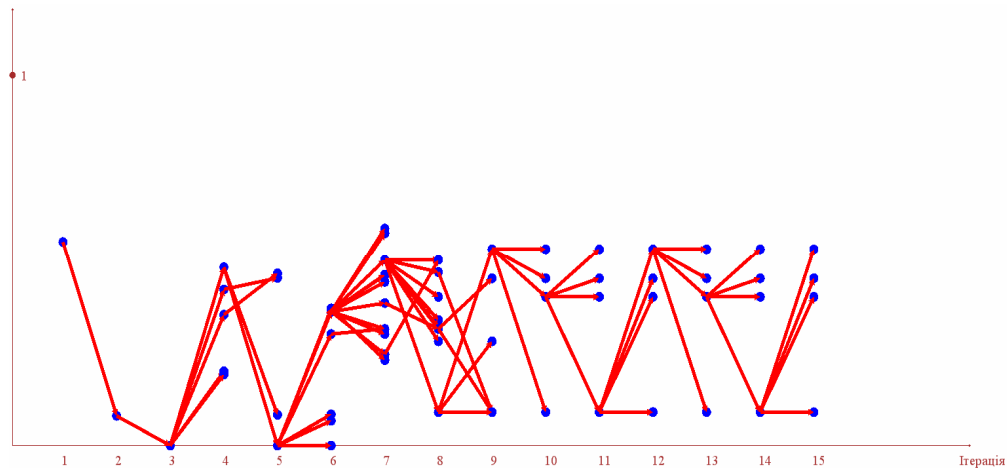


Рисунок 6 - Динаміка поведінки шостого нейрону

3. Висновки і подальші напрями досліджень

Таким чином, в даній роботі запропонована і реалізована одна з моделей нейромереж, яка враховує деякі властивості, які присутні в живих системах. Особливістю мереж є те, що в них адитивним чином введено випередження на один крок. Основною принципово новою якістю, виявленою при дослідженні є те, що можливі багатозначні рішення даної нейромережі. Ця властивість відкриває цілу нову область дослідження нейромережових моделей. Досліджені різні типи поведінки таких систем та динаміка в залежності від параметрів.

При дослідженні аналогічних моделей виникає ряд проблемних питань: як інтерпретувати результат роботи мережі, застосування режимів роботи мережі, оптимізація роботи мережі і т.д.

Можливими напрямками дослідження є введення для кожного шару мережі системи прийняття рішень, яка б обирала один вихід шару, відкидаючи всі інші. Як продовження даної моделі можливо досліджувати можливість збільшення асоціативної пам'яті мережі при фіксованій кількості нейронів. При розпізнаванні образів можна видавати як результат не один найбільш близький образ, а декілька з деякими ймовірностями. Зазначимо, що розглянуті в роботі задачі виникли із розгляду деталізацій мережових моделей із робіт [1, 2], в яких приведені також можливі інтерпретації отриманих явищ в моделях великих систем.

Однак, ще більш цікавими і перспективними є питання інтерпретації отриманих рішень і їх аналогів в живих системах. Так в [3] запропонований цілий спектр проблем і їх можливих рішень: проблема свідомості, нові принципи обчислень, зв'язки з квантово-механічним описом, нет'юрінговські комп'ютери, клітинні автомати і системи і багато іншого.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко А.С. Модели общественных явлений и сценарные подходы в принятии решений //Системные исследования и информационные технологии, 2003 № 3. - с.127-142.
2. Макаренко А.С. Системный анализ и моделирование социальных систем: новые возможности. //Актуальные проблемы экономики, 2004 № 9(39). – с. 79- 83.
3. Makarenko A. Cellular Automata with anticipation: Some new Research Problems. Int. Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium). 2008. vol. 20. pp. 230 – 242.
4. Dubois D. Introduction to Computing Anticipatory Systems. International Journal of Computing Anticipatory Systems, 1998, vol. 2, pp. 3-14.
5. Dubois D. Incursive and hyperincursive systems, fractal machine and anticipatory logic. Computing Anticipatory Systems: CASYS 2000 – Fourth International Conference. Published by the American Institute of Physics, AIP Conference Proceedings, 2001, vol. 573, pp. 437 – 451.
6. Hopfield J.J. Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities // Proceed. Of Nat. Acad. Sci. USA. 1982. V. 79. N. 8. P. 2554 – 2558.

Отримано 12.04.2010р.

УДК 624.046.5

Д.Г. Зеленцов, Л.И. Короткая

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОРРОДИРУЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ
ПАРАМЕТРА АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ**

Анотація. Пропонується нова постановка задачі оптимізації кородуючих конструкцій при нечіткій заданій інформації про швидкість корозії. Цей параметр описується лінгвістичною змінною, кожному значенню якої відповідає заданий інтервал зміни параметра. Використовується математичний апарат теорії нечітких множин, який дозволяє формалізувати початкові дані. Приводиться аналіз результатів чисельного експеримента.

Введение

За последние десятилетия проблеме расчета и оптимального проектирования конструкций, функционирующих в агрессивных средах, уделяется значительное внимание [1,2]. Традиционно при решении задачи весовой оптимизации корродирующих конструкций используется два подхода: детерминированный и вероятностный. Первый, наиболее распространенный, предполагает решение задачи в детерминированной постановке, когда значение долговечности является заданной точечной величиной (далее задача в четкой постановке). Второй подход – вероятностно-стохастический, допускает, что долговечность является интервальной величиной, распределенной по какому-либо известному закону (далее задача в вероятностной постановке). Указанные подходы предполагают наличие или полной информации о природе коррозионного процесса или информацию о законе и параметрах распределения. В реальных ситуациях информация о природе коррозии является неполной, что ставит под сомнение целесообразность решения задачи оптимизации в перечисленных постановках. В данной работе предлагается новый подход к решению задач оптимизации корродирующих конструкций при нечеткой информации о процессе коррозии (далее задача в нечеткой постановке).

© Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И., 2010

Постановка задачи

До настоящего времени для решения задачи оптимизации корродирующих конструкций применялась следующая постановка:

$$\begin{cases} F(\bar{x}) \rightarrow \min \\ g_1 : t(\bar{x}, \bar{c}) - t^* \geq 0 \\ g_2 : x_i \in [x_i^-; x_i^+], i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\bar{x}$ – вектор варьируемых параметров; n – их количество; $x_i^-; x_i^+$ – соответствующая нижняя и верхняя граница i -го варьируемого параметра; $\bar{c}$ – вектор параметров агрессивной среды; $t(\bar{x}, \bar{c})$ и t^* – расчетная и заданная долговечность конструкции; $F(\bar{x})$ – целевая функция.

Решение задачи в такой постановке имеет более теоретическое, чем практическое значение. Это связано с тем, что на самом деле информация о параметрах агрессивной среды достоверно неизвестна. Если рассмотреть в качестве такого параметра скорость коррозии при отсутствии напряжений v_0 , то становится очевидным, что его значение не может быть однозначно определено. В реальных условиях этот параметр зависит от целого ряда факторов: температуры среды, ее влажности, степени насыщенности различными элементами и т.п. Количественные характеристики всех этих факторов, с одной стороны, с трудом поддаются определению, с другой – могут изменяться в широком диапазоне в течение всего срока эксплуатации. При постановке задачи в лучшем случае известно, что среда имеет ту или иную степень агрессивности, которую можно описать с помощью лингвистической переменной [3]. Поскольку процесс коррозии настолько сложен и однозначно не определен, что не поддается точному количественному описанию, то использование лингвистической переменной оказывается вполне уместным. В частности, нечеткое множество, представляющее собой агрессивную среду, обусловлено нечеткой переменной степенью агрессивности: «неагрессивная», «слабоагрессивная», «низкоагрессивная», «среднеагрессивная», «высокоагрессивная» и «сильноагрессивная».

Таким образом, параметр v_0 следует рассматривать не как точечную величину, а величину, распределенную на некотором

интервале: $v_0 \in [v^-; v^+]$. Границы же этого интервала можно считать известными, исходя из значений интервалов степени агрессивности.

Рассмотрим подробнее ситуацию, которая возникает при таком задании параметра агрессивности. Для определенности будем полагать, что $v_0 = \frac{1}{2}(v^- + v^+)$, а заданная долговечность в постановке (1) равна t^* . Из вида дифференциальных уравнений [4], описывающих процесс коррозии, следует, что текущее состояние корродирующего элемента, а, следовательно, и его оптимальные параметры зависят от обобщенного показателя агрессивности среды $\delta_0 = v_0 \cdot t^*$. То есть, если $v_0 \cdot t^* = \text{const}$, тогда независимо от их конкретных значений оптимальные параметры конструкции одни и те же. Этот вывод позволяет предложить достаточно эффективный и логичный подход для решения задачи оптимизации для случая, когда v_0 является лингвистической переменной.

Предположим, что в результате решения задачи в постановке (1) найден оптимальный проект, характеризующийся вектором варьируемых параметров $\bar{x}^*$, долговечность которого t^* . Так как закон распределения параметра v_0 на заданном интервале неизвестен, то реальная долговечность данного оптимального проекта будет принадлежать интервалу $T \in [t^-; t^+]$, где $t^- = \frac{v_0 \cdot t^*}{v^+}$; $t^+ = \frac{v_0 \cdot t^*}{v^-}$. Точка t^* является внутренней точкой указанного временного интервала (рис. 1). В простейшем случае, если

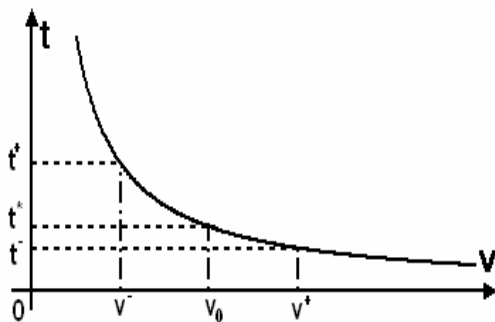


Рисунок 1

предположить, что закон распределения параметра v_0 близок к равномерному, надежность проекта может быть оценена как отношение

$$P = \frac{t^+ - t^*}{t^+ - t^-}.$$

Например, для $v_0 \in [0,075; 0,125]$ и $t^* = 5$ лет значение надежности составит

всего $P = 0,6$. Такое решение не является приемлемым для практики.

Для увеличения надежности оптимизируемого объекта следует рассмотреть все возможные варианты взаимного расположения временных интервалов и точки t^* , соответствующих решениям оптимизационной задачи $\bar{x}_s$.

При решении задачи в постановке (1) можно выделить два множества точек: допустимые $\bar{x}_s$, для которых $t(\bar{x}_s) \geq t^*$ и недопустимые ($t(\bar{x}_s) < t^*$) (рис. 2а). В нашем случае, выделим три класса интервалов:

- допустимые интервалы: $t^-(\bar{x}_s) \geq t^*$;
- недопустимые: $t^+(\bar{x}_s) < t^*$;
- почти допустимые: $t^* \in [t^-(\bar{x}_s); t^+(\bar{x}_s)]$ (рис. 2б).

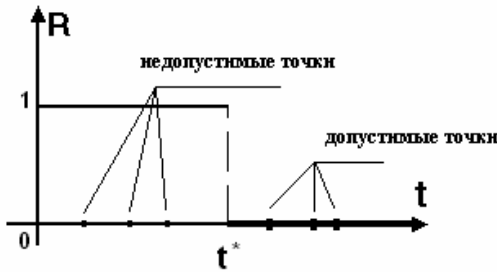


Рисунок 2а

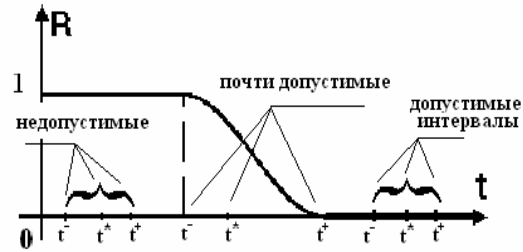


Рисунок 2б

При реализации постановки (1) обычно [2] используют пороговую функцию $R(t)$ для описания степени нарушения ограничений. Условно будем считать, что

$$R(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t(\bar{x}_s) \geq t^* \\ 1, & \text{если } t(\bar{x}_s) < t^* \end{cases} \quad (2)$$

При переходе к нечеткой постановке функцию степени нарушения (выполнения) ограничений запишем в виде:

$$R(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t^-(\bar{x}_s) > t^* \\ \mu(t), & \text{если } t^-(\bar{x}_s) < t^* < t^+(\bar{x}_s) \\ 1, & \text{если } t^+(\bar{x}_s) < t^* \end{cases} \quad (3)$$

Здесь $\mu(t)$ функция, принимающая некоторые значения на интервале $(0,1)$ - функция принадлежности [5].

Таким образом, решение оптимизационной задачи в нечеткой постановке будет представлять собой некоторый алгоритм выбора

почти допустимых и допустимых точек. При этом для оценки почти допустимых точек следует проводить оценку степени нарушения ограничений, для чего необходимо задать вид функции принадлежности. Когда закон распределения известен, например, равномерный, тогда в этом качестве может быть использована линейная функция. Но в реальных ситуациях, как правило, ни закон распределения, ни его параметры неизвестны. Поэтому функция принадлежности по возможности должна быть приближающейся к известным нелинейным функциям распределения. Авторам представляется целесообразным принять функцию:

$$\mu(t) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\pi \cdot \frac{t^+ - t}{t^+ - t^-} \right) \right). \quad (4)$$

Такой выбор обоснован еще и тем, что она является дважды дифференцируемой для всех значений аргумента, а границы временного интервала $[t^-; t^+]$ известны.

Значение этой функции для точки t^* и интервала $[t^-; t^+]$ может быть интерпретировано, как вероятность отказа.

Для почти допустимой точки следует найти компромисс между критерием качества и степенью нарушения ограничений. В данной работе предлагается использовать обобщенную функцию:

$$G = \frac{V(\bar{x})}{1 - R(t)}, \quad (5)$$

где $V(\bar{x})$ – критерий качества.

Теоретически значение функции нарушения ограничений $R(t)$ может неограниченно приближаться к своему верхнему предельному значению. В этом случае, число в знаменателе дроби может оказаться бесконечно малым: $1 - R(t) < \varepsilon \quad (\forall \varepsilon > 0)$. Во избежание нештатного завершения работы программы, следует ограничить верхний предел функции $R(t)$ и в формуле (3) считать, что интервал недопустимый, если $R(t) \geq 1 - \varepsilon$.

Анализ численных результатов

Для иллюстрации предложенной постановки в качестве объекта исследования рассматривалась статически определяемая балка прямоугольного сечения. Предполагалось, что степень агрессивной среды характеризуется лингвистической переменной

«сильноагрессивная» ($v_0 > 0,1$ см/год). Исходя из этого определились границы интервала $v_0 \in [0,07; 0,13]$. Задача решалась для следующих исходных данных: $[\sigma] = 240,0$ МПа; $t^* = 5$ лет. Предполагалось, что сечение балки, в котором изгибающий момент наибольший $M = 25000$ кг·см, известно. В качестве критерия качества $V(\bar{x})$ принимается площадь сечения, а в качестве варьируемых параметров – размеры сечения; их границы: $6 \leq h \leq 15$ см; $1 \leq b \leq 5$ см.

Принимается модель коррозионного износа, в которой напряжения оказывают влияния на скорость коррозии (6):

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0 \cdot (1 + k\sigma), \quad (6)$$

где σ – напряжения в сечении балки; k – коэффициент, определяющий влияние напряжения на скорость процесса ($k = 0,003$ МПа⁻¹).

В таблице 1 приведены результаты решения указанной задачи в нечеткой постановке. В тех случаях, когда объективной информации оказывается недостаточно для определения численных значений требуемого критерия, при принятии решения должны использоваться субъективные оценки. В ряде статистических процессов ввиду сложности поведения среды при расчете априорного распределения используется понятие субъективной вероятности, развитое на основе представления о степени уверенности относительно данного фактора, характеризующего свойства поведения среды. В этом качестве в нечеткой постановке рассматривается субъективная вероятность P надежности работы конструкции ($P = 1 - R(t)$).

Таблица 1

Численные значения площадей оптимальных сечений и соответствующих субъективных вероятностей в нечеткой постановке

δv	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03
$F, \text{ см}^2$	14,477	14,760	15,086	15,288	15,192
P	0,990	0,986	0,975	0,969	0,959

Введение в рассмотрение лингвистических переменных несколько усложняет алгоритм решения задачи оптимизации. Такое

усложнение оправдано лишь в том случае, если результаты решения задачи в такой постановке существенно отличаются от результатов, полученных в постановке (1). В этом случае в качестве параметра v_0 принимается его верхняя граница на заданном интервале.

Результаты решения такой задачи представлены в таблице 2. Расхождение результатов, получаемых в различных постановках, составляет в среднем 6%, что дает основание считать целесообразной нечеткую постановку задачи.

Таблица 2

Численные значения площадей оптимальных сечений
в четкой постановке

v^+	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13
F, см ²	14,578	14,974	15,348	15,732	16,105

Выводы

Предложен и обоснован альтернативный подход решения задачи оптимального проектирования корродирующих конструкций, в котором параметр агрессивной среды представлен как лингвистическая переменная. Получена количественная оценка оптимального решения, позволяющая интерпретировать результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.Г., Почтман Ю.М. Расчет и рациональное проектирование конструкций, подвергающихся коррозионному износу (Обзор). // Физико-химическая механика материалов. – 1991. – №2. – С. 7-15.
2. Зеленцов Д.Г., Филатов Г.В. Обзор исследований по применению методов нелинейного математического программирования к оптимальному проектированию конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой // Вопросы химии и химической технологии. – 2002. – №4. – С. 108-115.
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – Москва: Мир, 1976. – 163 с.
4. Овчинников И.Г., Кудайбергенов Н.Б., Дворкин М.С. Моделирование кинетики коррозии металлоконструкций с использованием банка математических моделей коррозии. // Проблемы повышения надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений: Сб. трудов. – Шымкент: Каз.ХТИ, 1993. – С. 9-25.
5. Михалев А.И., Лысяя Н.В., Лысый Д.А., Гладких В.А., Лысенко В.Ф. Оптимизация параметров процессов ферросплавного производства с использованием методов нечеткого вывода (монография) – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 130 с.
6. Долинский В.М. Расчет нагруженных труб, подверженных коррозии // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1967. – №2. – С. 9-10.

Получено 15.04.2010г.

УДК 530.1:681.3.068

К.Ю. Новікова, Ю.О. Водолазкий, А.О. Журба, О.І. Михальов
НАЛАГОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРА ФРАКТАЛЬНИХ
ПОВЕРХОНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ АЛГОРИТМІВ

Аннотация. Исследована зависимость фрактальных параметров от типа поверхности, которая основана на плоских изображениях мозаики Пенроуза и количества итераций, что позволит генерировать поверхности с необходимыми фрактальными параметрами.

Вступ

Реальні фізичні об'єкти та сигнали, що володіють ознаками самоподоби, дуже рідко можуть бути описані за допомогою лише однієї величини фрактальної розмірності. Саме тому останнім часом одержав поширення аналіз, заснований на теорії мультифракталів – неоднорідних фрактальних об'єктів. Поняття мультифрактала надає нові великі можливості фрактального аналізу складних стохастичних процесів [1].

Для побудови мозаїки Пенроуза використовується важлива властивість фракталів – самоподібність. Тому доцільне побудування фрактальної поверхні на основі мозаїки Пенроуза [2]. Також доцільно налагоджувати параметри плоских фрактальних поверхонь (зображення) використовуючи нечіткі алгоритми [3, 4].

Мета дослідження

Дослідити залежність фрактальних параметрів від типу поверхні, яка заснована на плоских зображеннях мозаїки Пенроуза і кількості ітерацій, що дозволить генерувати поверхні з необхідними фрактальними параметрами.

**Нечітка модель налагодження параметрів генератора
фрактальних поверхонь**

Розробити нечітку систему, налагодження параметрів генератора фрактальних поверхонь, а саме по типу мозаїки Пенроуза та кількості ітерацій вимірювати фрактальну розмірність плоских поверхонь.

Для реалізації системи вводу-виводу в нечіткому контролері використано нечіткий алгоритм Мамдані.

© Новікова К.Ю., Водолазкий Ю.О., Журба А.О., Михальов О.І., 2010

Вхідні дані при побудові даної нечіткої системи налагодження визначаються наступними вхідними лінгвістичними змінними (ЛЗ), такими як:

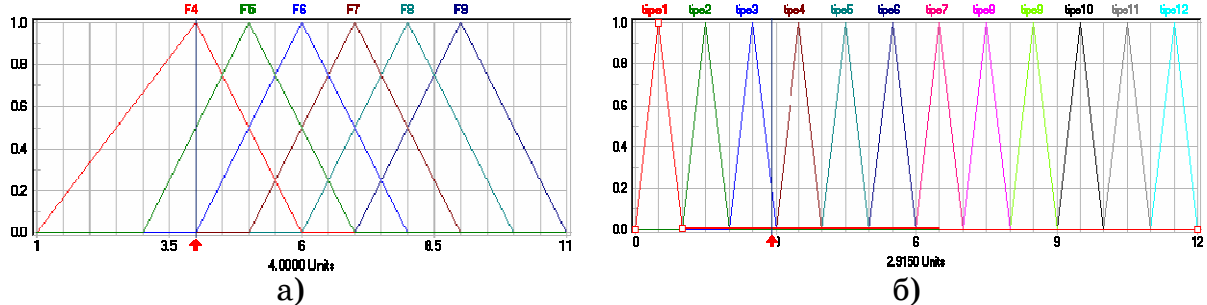
1. Тип мозаїки Пенроуза;
2. Кількість ітерацій;

Кількість ітерацій – це величина, яка задає різницю висот пікселів на черговому кроці ітерації.

У якості вихідної лінгвістичної змінної будемо використовувати: «Фрактальну розмірність». Проводиться оцінка по 3 бальній порядковій шкалі.

З урахуванням зроблених уточнень та дослідженні 72 модельних поверхонь, які основані на плоских зображеннях мозаїки Пенроуза нечітка база знань може бути представлена у форматі 216 правил нечіткої продукції.

Для рішення задачі фаззифікації пропонуються трикутні функції приналежності, оскільки вхідні величини можуть ставитися до декількох оцінок, з різним ступенем упевненості.



а) вхідна ЛЗ «Кількість ітерацій»;

б) вхідна ЛЗ «Тип мозаїки Пенроуза»;

Рисунок 1 - Функції приналежності вхідних ЛЗ

На рисунку 2 наведена функція приналежності для механізму виводу (дефаззифікації).

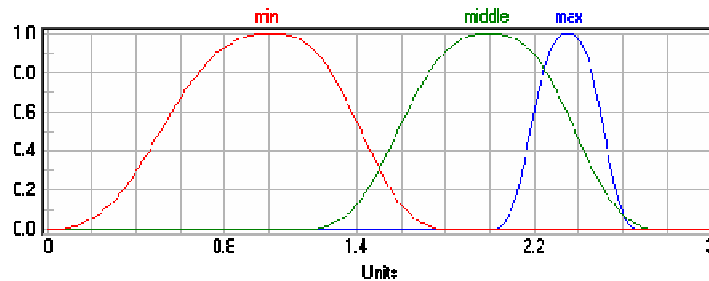


Рисунок 2 - Функція приналежності виходу
«Фрактальна розмірність»

Графічне вікно режиму налагодження проекту нижче стандартного рядка заголовка та кнопок керування вікном має власну панель інструментів і дві (рисунок 3) або три секції. Секцію імен і значень вхідних лінгвістичних змінних, розташовану ліворуч, і секцію імен і значень вихідних лінгвістичних змінних, розташовану праворуч.

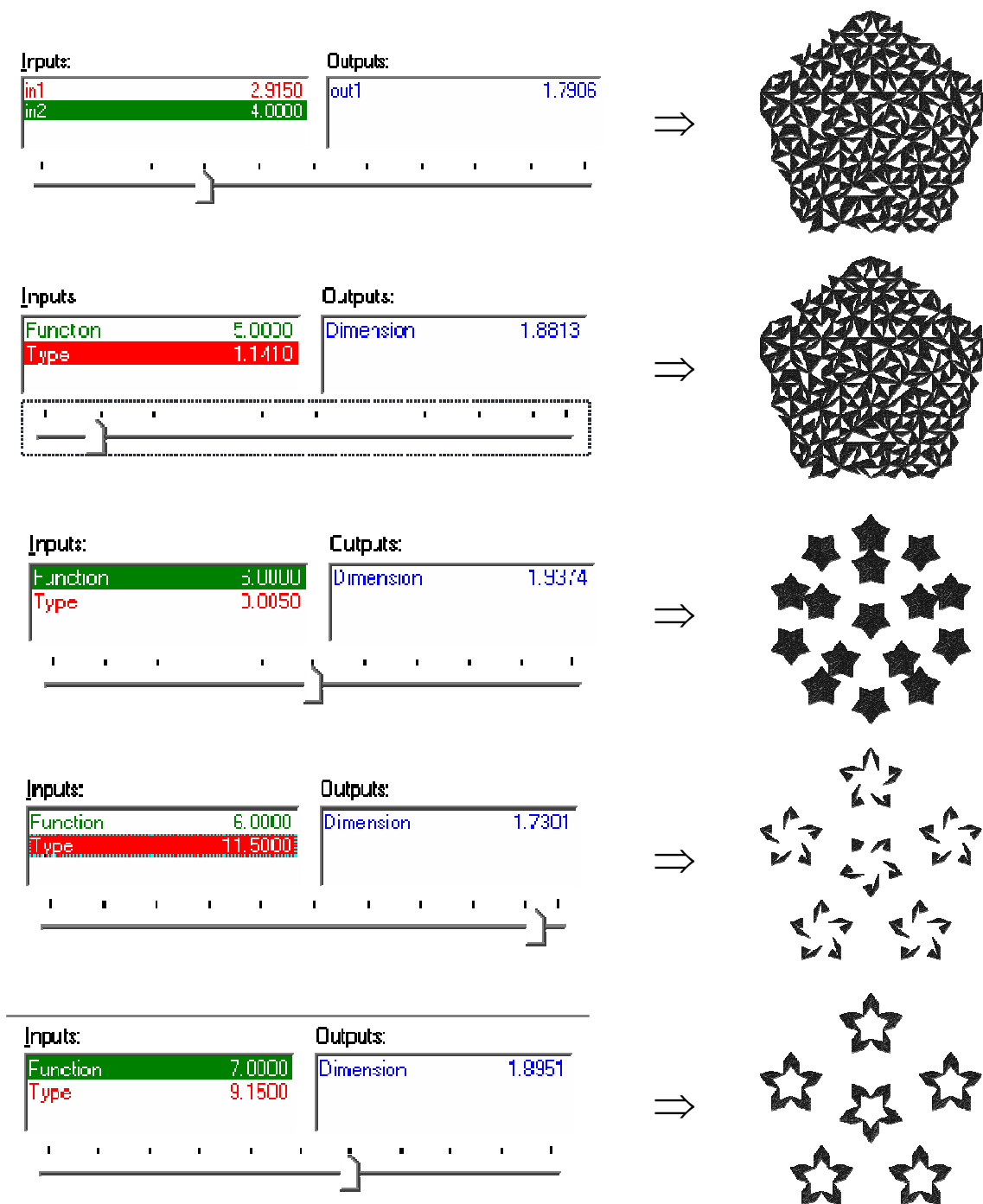


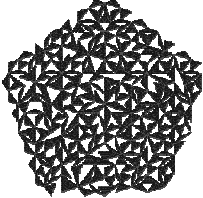
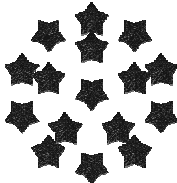
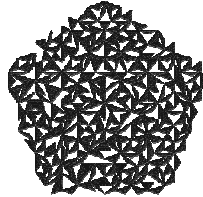
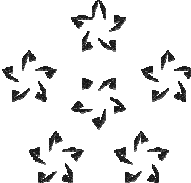
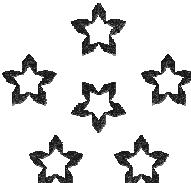
Рисунок 3 - Графічне вікно режиму налагодження проекту системи нечіткого висновку

Зовнішній вигляд цих секцій залежить від загальної кількості лінгвістичних змінних у поточному нечіткому проекті. У нижній частині графічного вікна режиму налагодження проекту розташований регулятор вибору значень вхідних лінгвістичних змінних [5].

Проведено порівняльний аналіз розрахованих і даних, що спрогнозовано, результати представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз розрахованих і даних, що спрогнозовано

№ п/п	Фрактальна розмірність		Відносна похибка, %	Модельні поверхні
	Передбачена	Розрахована		
1	1.7906	1.7112	4.64	
2	1.9374	1.8020	7.51	
3	1.8813	1.6765	12.21	
4	1.7301	1.8831	8.12	
5	1.8951	1.8300	3.55	

Висновки

В даній роботі було проведено налагодження параметрів генератора фрактальних поверхонь, використовуючи алгоритми нечіткого логічного висновку. Досліджена залежність фрактальних параметрів від типу поверхні, яка основана на плоских зображеннях мозаїки Пенройза та кількості ітерацій – величина, яка задає різницю висот пікселів на наступному кроці ітерації побудови поверхні, що дозволяє генерувати поверхню з необхідними фрактальними параметрами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. - М.: Ижевск, 2001.
2. Гарднер М. От мозаик Пенроуза к надежным шифрам: Пер. с англ.- М.: Мир, 1993. - 416 с., ил.
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир. - 1976. - 165с.
4. Круглов В. В., Дли М. И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002. – 256 с.
5. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. – БХВ: Санкт - Петербург, 2003. – 716 с.

Отримано 17.04.2010р.

УДК 539.16.07, 539.122.164.074.3, 539.121.6/.7.07

Е.Г. Ярощук

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ АКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕННОГО
ИСТОЧНИКА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГАММА-СКАНЕРА КРУГОВОГО ОБЗОРА**

Анотація. Запропонована методика оцінки активності при виявленні джерела гама-випромінювання в польових умовах з використанням гама-сканера кругового огляду. Розроблений алгоритм точкової оцінки активності джерела по зареєстрованому спектру з напрямку, проводилося дослідження теоретичних та методичних передумов до формування інтервальної оцінки.

Введение

Долгое время системы визуализации гамма-излучения на базе кодированных апертур использовались в астрономии в качестве гамма-телескопов, однако в последнее время за счет разработки новых методов и технических средств они получили широкое распространение для решения задач экологического мониторинга, обнаружения и идентификации источников ионизирующего излучения (ИИИ). Одним из таких приборов, является гамма-сканер кругового обзора, разработанный в НИПКИ «Искра» [1]. Он может применяться в составе автоматизированных систем контроля радиоэкологической безопасности для обследования окружающей среды на предмет ИИИ. С помощью этого прибора можно обнаружить, локализовать и идентифицировать радионуклидный состав обнаруженных источников, а также посчитать активности найденных источников. В результате по полученной информации можно составить двумерную карту местности с нанесенными на нее источниками и дозными полями. Поскольку обнаружение и локализация источника производится по данным с нескольких точек измерений, в каждом из которых заложены ошибки позиционирования, различная фоновая загрузка регистрируемого спектра, и возможные преграды между источником и прибором, создают ситуации, когда регистрируемая плотность потока от источника не соответствует условию проведения эксперимента(при

одном и том же расстоянии между источником и прибором получается разная плотность потока), что в свою очередь ведет к погрешностям в результатах определения местоположения источника и его активности. Вследствие чего, в частности, возникает задача оценки достоверности результатов определения активности обнаруженного источника.

Целью данной статьи является разработка методики оценки активности локализованного на местности источника с помощью гамма - сканера кругового обзора. Для достижения этой цели решаются следующие задачи: формирование алгоритма точечной оценки активности источника по зарегистрированному спектру с направления, исследование теоретических и методических предпосылок к формированию интервальной оценки.

Методика оценки активности гамма - сканером кругового обзора

Алгоритм точечной оценки активности источника

Гамма-сканер конструктивно представляет собой единичный детектор с кристаллом CsI(Tl) размером 50×100 мм и постоянно вращающуюся свинцовую круговую маску состоящих из $m = 31$ элемента, часть которых свободно пропускает гамма-кванты (открытые элементы), а остальная поглощает(закрытые элементы). Данный прибор работает в диапазоне энергий от 0 до 3 МэВ. Прибор позволяет получать круговую диаграмму направленностей плотностей потока гамма-излучения, по которым можно определить направление на источник, а по спектру с выбранного направления идентифицировать радионуклидный состав источника ионизирующего излучения. Истинное угловое разрешение данного прибора, при котором два рядом стоящих точечных источника можно четко различить составляет $360/31=11.6$, при этом результатом работы прибора является матрица спектров в положениях маски размерностью 31×1024, где 31-количество позиций маски, а 1024 — количество энергетических каналов. Однако вследствие постоянства вращения маски можно увеличить количество позиций маски за счет уменьшения времени экспозиции детектора при формировании очередного спектра позиций, в результате чего угловое разрешение прибора может быть несколько улучшено. При работе с гониометром может быть использована дискретизация с коэффициентом $k =$

1,3,5,7, соответственно результатом работы будет матрица спектров позиций размерностью $k \times 31 \times 1024$ [2].

Расчет активности источника и ее оценка производится после выполнения операций по обнаружению, идентификации и локализации источника (определение координат источника при известной привязке гамма - сканера к местности).

Обнаружение источника производится следующим образом: по окончанию проведения сканером замера фона получаем матрицу спектров позиций, после чего необходимо выполнить восстановление углового распределения плотностей потока гамма-излучения, для этого выбирается диапазон каналов(энергий), для которых будет производится восстановление распределения и рассчитывается матрица счетности P , элементы которой представляют собой сумму чисел событий, зарегистрированных детектором за время наблюдения в выбранном для измерений энергетическом диапазоне для каждой позиции маски. При этом следует отметить, что каждый элемент матрицы счетности представляет собой корреляцию функции O распределения источников гамма-излучения в поле зрения с функцией маски M и счета событий фона, не зависящего от источников:

$$P = O \otimes M + B \quad (1)$$

Затем для восстановления распределения источников производится операция корреляции по формуле[3]:

$$O_j^* = \sum_{j=0}^{k \cdot m - 1} \sum_i^{m-1} P_{(i * k + k * m - j) \bmod k \cdot m} \cdot G_i \quad (2)$$

Здесь O_j^* – элемент матрицы восстановленного пространственного распределения источников гамма-излучения,

P_i – элемент матрицы счетов событий, зарегистрированных детектором,

G – элемент матрицы обработки. Матрица G определяется соответствующим образом, исходя из выбранной кодирующей последовательности и размера маски [3].

Далее определяется с.к.о. восстановленного углового распределения плотностей потоков гамма - квантов, как корень квадратный из матрицы счетности P :

$$\sigma^{*2} = \sum_{k=0}^{N-1} P_k \quad (3)$$

После расчета с.к.о. производим поиск источников. Источниками считаются участки массива плотностей потока, удовлетворяющих следующим требованиям: максимальная плотность потока источника должна быть не ниже уровня “пяти сигм” (поскольку начиная с этого уровня мы имеем возможность восстановить спектр с направления и оценив его форму, идентифицировать нуклид; при обнаружении источника на уровне ниже “пяти сигм” восстановленный спектр представляет собой флуктуацию шумов на уровне, которых невозможно определить принадлежность спектра), ширина распределения плотностей потока от предполагаемого точечного источника должна в допустимых пределах соответствовать ширине распределения идеального точечного источника аппаратурной функции [4,5].

После того как источник обнаружен, производится восстановление суммарного спектра для диапазона направлений, в которых он был зафиксирован. Расчет спектра d_i -го направления выполняется по следующей формуле [3]:

$$S_j^{(d_i)} = \sum_{j=0}^{1023} \sum_i^{m-1} P_{(i*k+k*m-d_i) \bmod k*m} \cdot G_i \quad (4)$$

где d_i – индексы выбранного направления;

$S_j(d_i)$ – количество зарегистрированных событий в j -ом спектральном канале от направления с индексом d_i ;

j – индекс спектрального канала, пробегающий значения по всему спектральному окну регистрации;

m – размеры основной последовательности кодирующего массива;

G – обрабатывающий массив, применяемый при получении углового распределения плотностей потока;

P – матрица счетности, для всего диапазона энергетических каналов.

По полученному спектру с направления выполняется операция идентификации, заключающаяся в определении соответствия данного спектра к одному или нескольким известным спектрам из библиотеки нуклидов. Зачастую, уже на стадии выбора энергетического диапазона для расчета матрицы счетности формируется диапазон поиска определенных нуклидов. Что в дальнейшем упрощает идентификацию спектра.

После выполнения операций обнаружения и идентификации мы имеем следующую информацию, которая может быть

использована для определения координат источника и расчета активности: направление на источник, плотность потока от источника и его нуклидный состав.

Вслед за идентификацией источника, в случае, если его местоположение известно и известны координаты прибора(то есть либо известно расстояние между источником и гамма - сканером либо его можно вычислить), можно вычислить активность источника по следующим двум формулам: первая определяет активность по пикам полного поглощения, а вторая по полному спектру нуклида.

$$A_q = \frac{N_{\text{php}}}{\sum_{i=0}^{n-1} (P(E_i) \cdot e^{-(\mu_{\text{air}}(E_i) \cdot L)} \cdot T \cdot 0.5 \cdot (1 + e^{-(\mu_{\text{Pb}}(E_i) \cdot a)}) \cdot \varepsilon_{\text{php}}(E_i) \cdot H \cdot D / (4 \cdot \pi \cdot L^2))} \quad (5)$$

$$A_q = \frac{N_{\text{full}}}{\sum_{i=0}^{n-1} (P(E_i) \cdot e^{-(\mu_{\text{air}}(E_i) \cdot L)} \cdot T \cdot 0.5 \cdot (1 + e^{-(\mu_{\text{Pb}}(E_i) \cdot a)}) \cdot \varepsilon_{\text{full}}(E_i) \cdot H \cdot D / (4 \cdot \pi \cdot L^2))} \quad (6)$$

где A_q – активность;

N_{php} – сумма событий в фотопиках нуклида;

N_{full} – сумма событий в полном спектре нуклида;

E_i – энергетическая линия нуклида;

$P(E_i)$ – вероятность вылета гамма - кванта с энергией E ;

$\mu_{\text{air}}(E_i)$ – коэффициент ослабления в воздухе гамма - кванта с энергией E ;

$\mu_{\text{Pb}}(E_i)$ – коэффициент ослабления в свинце гамма - кванта с энергией E ;

$\varepsilon_{\text{php}}(E_i)$ – усредненная эффективность регистрации в фотопике с энергией E ;

$\varepsilon_{\text{full}}(E_i)$ – эффективность регистрации в полном спектре нуклида;

T – время накопления данных;

L – расстояние между источником и гамма - сканером;

a – толщина элемента маски;

H – высота кристалла;

D – диаметр кристалла.

Интервальная оценка активности источника

Если же местоположение найденного источника не известно, то есть производится поиск источников на местности, тогда для

определения местоположения источника необходимо провести минимум еще один опыт, но в другой точке с целью обнаружения источника под другим углом относительно сканера, чтобы по пересечению известных направлений на источник определить его координаты. Дополнительные опыты позволяют лишь уточнить его местоположение и спектрометрические характеристики. Поскольку каждая пара направлений рождает свою точку координат источника, то производится уточнение значений координат либо простым усреднением, либо усреднением, с учетом степени доверия к полученным данным, учитывающие в качестве весовых коэффициентов существующие погрешности при проведении замера спектрометрических данных в каждой точке (ошибки позиционирования прибора на местности: определения координат и углового направления; учет статистической обеспеченности спектрометрических данных об источнике, учет углового разрешения прибора и т.д.)[6]. Аналогичная ситуация возникает и с расчетом активности. В случае нескольких экспериментов, каждая координата, образованная пересечением двух направлений на источник, рождает для каждой точки опыта свое значение активности и усредненное значение можно рассчитывать, как простым усреднением, так и с учетом весовых коэффициентов. Естественно, значение рассчитанной активности сильно зависит от времени и количества замеров, от преград, лежащих на линии между источником и прибором, которые влияют на статистику спектрометрических данных, от работы аппаратуры при различных условиях эксплуатации, от ошибок позиционирования и расчета координат источника. В связи с этим, определение аналитической зависимости между значением активности и всеми значимыми аппаратурными, субъективными и методологическими погрешностями представляют большую сложность, вместо этого целесообразней оценивать значение активности некоторым доверительным интервалом для заданной вероятности. Ширина доверительного интервала сильно зависит от количества данных в выборке результатов опытов, однако на практике количество экспериментов мало и сделаны они в разных условиях, что в случае существования преград в некоторых опытах между прибором и источником, не позволит использовать рассчитанные значения активности для определения доверительного

интервала, поскольку эти данные в разных случаях будут подчиняться разным законам распределения. По этим причинам целесообразней всего пользоваться следующим способом определения доверительного интервала: для каждого значения активности, рассчитанного по спектрометрическим данным эксперимента с использованием расстояния между точкой позиционирования прибора и вычисленными координатами источника, образованными каждой парой пересечений направлений на источник, рассчитывать свой доверительный интервал, а результирующий интервал всех значений активности находить пересечением полученных интервалов. Поскольку в таком случае в выборке будет находиться лишь одно значение активности, то подсчитать матожидание и с.к.о. выборки не представляется возможным, однако выходом из этой ситуации будет построение доверительного интервала для неизвестного среднего, которое в данном случае будем считать приближенным к истинному значению активности источника.

Интервальная оценка активности источника равна:

$$\beta = p(X - \varepsilon \leq \mu \leq X + \varepsilon) \quad (7)$$

β – заданная вероятность

X – рассчитанное значение активности

μ – мат. ожидание выборки

σ – с.к.о. выборки значений активности полученные при одинаковых условиях

ε – значение, задающее границы доверительного интервала, где

ε находим из соотношения $\beta = 2 \times \Phi(\varepsilon/\sigma)$, $\varepsilon = n \times \sigma$

Однако остается неизвестным значение σ . По всей видимости выборка значений активности полученная при многократном повторении экспериментов с одинаковой геометрией (одинаковым временем накопления данных, одинаковым взаимным расположением источника и гамма - сканера, одинаковой фоновой загрузкой спектра) будет подчинена нормальному закону распределения. Поскольку в реальных условиях большое количество опытов накопить затруднительно, расчет σ в явном виде не возможен; в этом случае можно использовать известную зависимость между неким параметром статистической обеспеченности источника и σ выборки.

В качестве параметра статистической обеспеченности источника может использоваться максимальное количество σ^* – с.к.о.

источника в восстановленном распределении плотностей потока гамма-квантов с направления $n(\sigma^*)$ (1).

$$n = N / \sigma^* \quad (8)$$

где N – плотность потока источника за время эксперимента.

Таким образом, на практике, для получения интервальной оценки, необходимо определить вид связи этих двух величин и построить регрессионную модель.

Экспериментальные исследования

Для доказательства гипотезы о нормальности распределения значений активности источника при проведении замеров спектра с одинаковой геометрией была проведена серия экспериментов по обнаружению, идентификации и расчету активности точечного источника Cs137 активностью 3Ч105 Бк. Эксперименты проводились в закрытом помещении при известном относительно постоянном естественном фоне, источник располагался от прибора на расстоянии 1.5м при постоянном взаимном положении, время экспозиции источника в каждом опыте составляло 120с, всего было проведено 150 опытов. По полученным данным были рассчитаны значения активности для каждого опыта. Выборка значений активностей размером 150 элементов была проверена на подчинение нормальному закону распределения с использованием критерия согласия χ^2 Пирсона. В итоге было получено соответствие распределения экспериментальной выборки нормальному закону на уровне 96%.

Для установления зависимости между σ выборки серии опытов сделанных при одинаковых условиях и статистической обеспеченностью источника были проведены серии экспериментов в трех точках 1.5м, 2.5м, 3.5м относительно гамма - сканера с разным временем накопления экспериментальных данных: 120с, 300с, 600с, 900с, 1200с, 1800с. Таким образом, с изменением расстояния и времени экспозиции, изменялась статистика счетов гамма - квантов источника. Для каждой геометрии проводилось от 10 до 15 опытов. Затем рассчитывались активности и n для каждого опыта. Для каждой серии экспериментов с одинаковой геометрией рассчитывались σ и среднее значение n . Для установления существования связи между n и σ был рассчитан коэффициент корреляции $R_{n\sigma} = -0.82$, что свидетельствует о наличии обратно пропорциональной связи. Затем была построена регрессионная модель

определяющая аналитическую зависимость двух величин для чего

была выбрана обратно пропорциональная функция вида $f(x) = \frac{a \times x^m}{b + x^n}$ с рассчитанными с помощью алгоритма оптимизации Левенберга — Марквардта коэффициентами: $a = 2.56 \times 10^5$ и $b = -0.047$, $m = 0$, $n = 1$ (рис. 1).

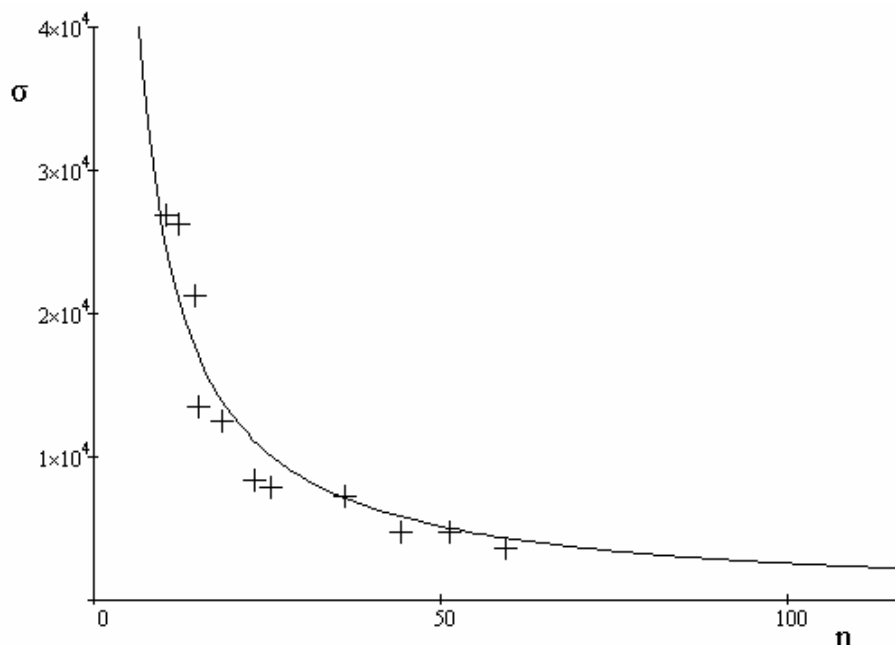


Рисунок 1 - Функция $\sigma = f(n)$

Выводы

В данной статье предложена методика оценки активности радиоактивного источника, обнаруженного с помощью гамма-сканера кругового обзора, при проведении нескольких замеров спектра в различных условиях (различное время экспозиции, различное взаимное положение источника и измерительного прибора, неоднородность спектра фона). Показано, что распределение значений активности, полученных при проведении серии экспериментов с одинаковой геометрией, подчиняется нормальному закону. Определены необходимые параметры для расчета доверительного интервала, найдена зависимость с.к.о. измеряемой активности σ от статистической обеспеченности источника n . В экспериментальной части получена зависимость между n и σ для изотопа Cs137.

Данная методика может быть использована в автоматизированных системах контроля радиоэкологической безопасности. В дальнейшем планируется апробация данной методики и на других изотопах в полевых условиях в задаче обнаружения, идентификации и определении активности обнаруженных источников гамма-излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плахотник В.Ю. "ГОНИОМЕТР" - гамма-сканер кругового обзора с кодирующей маской / Плахотник В.Ю., Кочергин А.В. – К.: ПБФ, НТУУ "КПИ" – 2008. – 264 с., с.166 – 167. – (Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції "Приладобудування: стан і перспективи", 22-23 квітня 2008 р.)
2. Плахотник В.Ю. Угловое разрешение гамма-сканера кругового обзора с кодирующей маской./ Плахотник В.Ю., Ярощук Е.Г. – Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Вип. 5/2008 (52). Частина 2. с. 32-34
3. Ярощук Е.Г. Спектрометрия источников гамма-излучения при помощи систем визуализации на основе кодированных апертур / Е.Г. Ярощук // «Вестник СевНТУ», серия «Физика, математика», вып. №99, с.100-105.
4. Плахотник В.Ю. Критерий принятия решения для системы с кодированной апертурой / Плахотник В.Ю.; НИПКИ «Искра». - Луганск, 2007. – 9 с.: ил. - Библиогр.: 8 назв. – Рус.. - Деп. в ГНТБ Украины 17.09.07, №90 – Ук 2007.
5. Ярощук Е.Г. Исследование статистики сигнала гамма-сканера с круговой кодирующей маской / Е.Г. Ярощук // ВНУ (электрон. издание) - №5Е/2009.
6. Ярощук Е.Г. Методика локализации источников гамма излучения на местности с использованием приборов с кодированными апертурами / Ярощук Е.Г.; НИПКИ «Искра», - Луганск , 2008 – 10с. – Библиогр.: 3 назв. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 12.05.08, № 56 – Ук. 2008.

Получено 20.04.2010г.

УДК 004.42, 621.746.6.001.2

В.Ю. Селівьорстов, Т.В. Михайловська

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА РОЗПЛАВ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

Анотація. Приведений опис програмного засобу, який призначено для визначення режиму здійснення газодинамічного впливу на розплав у ливарній формі. Робота автоматизованої системи заснована на методиці розрахунку режиму здійснення технологічного процесу газодинамічного впливу на метал, що твердіє у ливарній формі, в основі якої лежить покрокове обчислення діапазону робочих тисків в системі виливок-пристрій для уведення газу.

Ключові слова: газодинамічний вплив, технологія, параметри, методика, розрахунок, комп'ютерна програма GDICalc.

Вступ. В теперішній час підвищення якості литих виробів при одночасному зниженні матеріальних та енергетичних витрат на виробництво може бути досягнуто за рахунок розробки та освоєння спеціальних методів зовнішніх активних фізичних впливів на розплав, що твердіє в ливарній формі, і в тому числі газодинамічного впливу. При цьому технологічний процес потребує визначення (розрахунку), зокрема автоматизованого, певних режимів реалізації за для ефективного використання в конкретних умовах діючого виробництва.

Аналіз попередніх публікацій та постановка задачі. Під режимом газодинамічного впливу розуміють залежність максимального робочого тиску від часу і аналогічну залежність для робочого тиску, які розраховуються на базі тимчасового опру і опору деформації відповідно, з врахуванням значення розтягуючої напруги, що діє на затверділий шар металу [1, 2]. Слід зазначити, що значення тимчасового опру і опору деформації представляють собою довідкову інформацію та істотно змінюються в залежності від температури, що призводить до необхідності визначення кінетики твердіння виробу для розрахунку режиму газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі. Як відомо, кінетику твердіння можливо визначити в ході проведення натурного експерименту, з використанням пакетів

прикладних програм: систем комп'ютерного моделювання ливарних процесів (СКМ ЛП) («MAGMASOFT», СКМ ЛП «LVMFlow», СКМ ЛП «Poligon» та ін.), а також з використанням менш громіздких програмних засобів, які базуються на спрощених математичних моделях, але дозволяють провести оцінку динаміки твердіння виробу [3]. Методика визначення режиму газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі представляє собою визначення максимального робочого та робочого тисків у покроковому режимі, причому для кожної ітерації по часу необхідно проводити ідентичний набір обчислень. Визначення режиму газодинамічного тиску на розплав в ручну вимагає великого обсягу рутинних обчислень, які не тільки займають багато часу, але й не виключають наявності помилок, обумовлених похибками, що вносяться роботою виконавця. Тому актуальною задачею є уникнення вищезазначених недоліків та підвищення достовірності результатів розрахунків.

Ціль роботи – розробка програмного засобу, який представляє собою комп'ютерну реалізацію методики розрахунку режиму здійснення технологічного процесу газодинамічного впливу на метал, що твердне в ливарній формі.

Результати досліджень. Для зменшення трудомісткості визначення діапазону робочих тисків при реалізації технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі у відповідності до методики [1, 2] була розроблена комп'ютерна програма (КП) GDICalc (Gas Dynamic Influence Calculation).

Інтерфейс КП GDICalc умовно поділений на області введення термочасових параметрів, часового опору, опору деформації, додаткових параметрів та довідки.

КП GDICalc являє собою автоматизовану систему визначення режиму газодинамічного впливу на розплав, що твердне в ливарній формі і передбачає виконання наступної послідовності дій, яка складається із 5 кроків.

Крок 1. Введення термочасових параметрів. Виконання цього етапу потребує певної попередньої підготовки. Кінетику твердіння, температуру на поверхні вилівка, розтягуючу напругу, отримані в результаті проведення натурного або модельного експерименту, необхідно занести у відповідні стовпчики таблиці.

Крок 2. Введення значень тимчасового опору. Залежність тимчасового опору від температури є довідковою інформацією і вноситься безпосередньо в таблицю, без попередньої обробки.

Крок 3. Введення значень опору деформації. Залежність опору деформації від температури також є довідковою інформацією і вноситься безпосередньо в таблицю.

Крок 4. Введення додаткової інформації. В якості додаткової інформації необхідно вказати температуру повного затвердіння сплаву із якого виготовлений виливок.

Крок 5. Візуалізація результатів розрахунку режиму газодинамічного впливу на розплав, що твердне в ливарній формі, у вигляді таблиці та графіка залежності тиску газу від часу.

На рисунку 1 наведений інтерфейс GDICalc, до якого занесені початкові дані для розрахунку режиму газодинамічного впливу на розплав виливка із сталі 35Л [4, 5].

Режим газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі

Термочасові характеристики

Кількість відліків: 7

№	t _{вх}	x(t _{вх})	T(t _{вх})	P _г (t)
1	74	0	1450	1.020
2	115	12	1408	0.25
3	184	27	1439	0.107
4	282	43	1421	0.067
5	366	55	1405	0.052
6	533	76	1381	0.038
7	700	113	1355	0.025

t_{вх}, с - час
x(t_{вх}), мм - товщина затверділого шару
T(t_{вх}), град С - температура по поверхні виливка
P_г(t), МПа - розтягуюча напруга, що діє на затверділий шар

Зворотити Завантажити Очистити

Тимчасовий опір

Кількість відліків: 16

№	T	SigB(T)
1	1470	0.707
2	1450	1.474
3	1430	2.52E
4	1410	3.36F
5	1390	4.52E
6	1370	5.684

T, град С - температура
SigB(T), МПа - тимчасовий опір

Зворотити Завантажити Очистити

Додаткові параметри

1455 Тел. град. Г - температура повного затвердіння

Режим ГДВ

Опір деформації

Кількість відліків: 8

№	T	SigD(T)
1	800	49.3E
2	900	40.11
3	1000	29.1
4	1100	23.14
5	1200	16.2
6	1300	5.4

T, град С - температура
SigD(T), МПа - опір деформації

Зворотити Завантажити Очистити

Рисунок 1 – Інтерфейс GDICalc

На початку введення термочасових характеристик необхідно вказати кількість рядків у таблиці, що містить часовий відлік та товщину затверділого шару, температуру на поверхні виливка, розтягуючу напругу, що діє на затверділий шар для кожного моменту часу. У віконце «Кількість відліків» необхідно занести ціле число, що

відповідає загальній кількості точок, за якими фіксується кінетика твердіння виливка, для якого проводиться розрахунок режиму газодинамічного впливу. Після того, як таблиця з термочасовими характеристиками заповнена, дані можливо зберегти в текстовий файл шляхом натиснення на кнопку «Зберегти». Одразу після натиснення цієї кнопки відкриється діалогове вікно збереження файлів, за допомогою якого необхідно задати каталог, в якому буде збережено файл, а також його ім'я. Ідентичним чином користувач працює при введенні тимчасового опору та опору деформації, в таблицю вводяться довідкові дані, які використовуються при визначенні відповідності температури затверділого шару металу та значення тимчасового опору та опору деформації, шляхом інтерполяції довідкових даних.

Кнопка «Очистити» присутня в кожному із блоків введення вихідних даних та передбачає очистку таблиць введення даних. По замовчанню в таблицях присутні чотири рядки, при необхідності їх кількість можливо збільшити. Після введення основних даних, задаємо температуру повного затвердіння металу. Температура задається в градусах Цельсію.

Після того, як всі вихідні дані зведені в розрахунковому модулі, необхідно натиснути кнопку «Режим ГДВ». Одразу після натиснення цієї кнопки відкривається діалогове вікно «Режим газодинамічного впливу». Це вікно містить дві закладки «Дані» та «Графік». На закладці «Дані» відображаються результати обробки вихідних даних та обчислення на їх основі залежності значень робочого тиску та максимального робочого тиску при здійсненні газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі (таблиця 1).

При переході на закладку «Графік» (рисунок 2) відображається залежність максимального робочого тиску та робочого тиску від часу при здійсненні технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі для виливка із сталі 35Л, при умові наявності кінетики твердіння виливку.

Таблиця 1

Результати обчислення
режиму газодинамічного впливу для вилівка з сталі 35Л

№ п/п	Час, сек	Розтягуюча напруга, що діє на затверділий шар, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Опір деформації, МПа	Максимальний робочий тиск, МПа	Робочий тиск, МПа
1	74	1,03	1,12	0,00667	0,0949	-1,02
2	115	0,25	1,14	0,0133	0,892	-0,237
3	184	0,107	1,49	0,14	1,39	0,033
4	282	0,067	1,84	0,267	1,78	0,2
5	366	0,0520	2,12	0,367	2,07	0,315
6	533	0,038	2,56	0,527	2,52	0,489
7	700	0,025	3,04	0,7	3,02	0,675

Режим газодинамічного впливу

Дані [Графік]

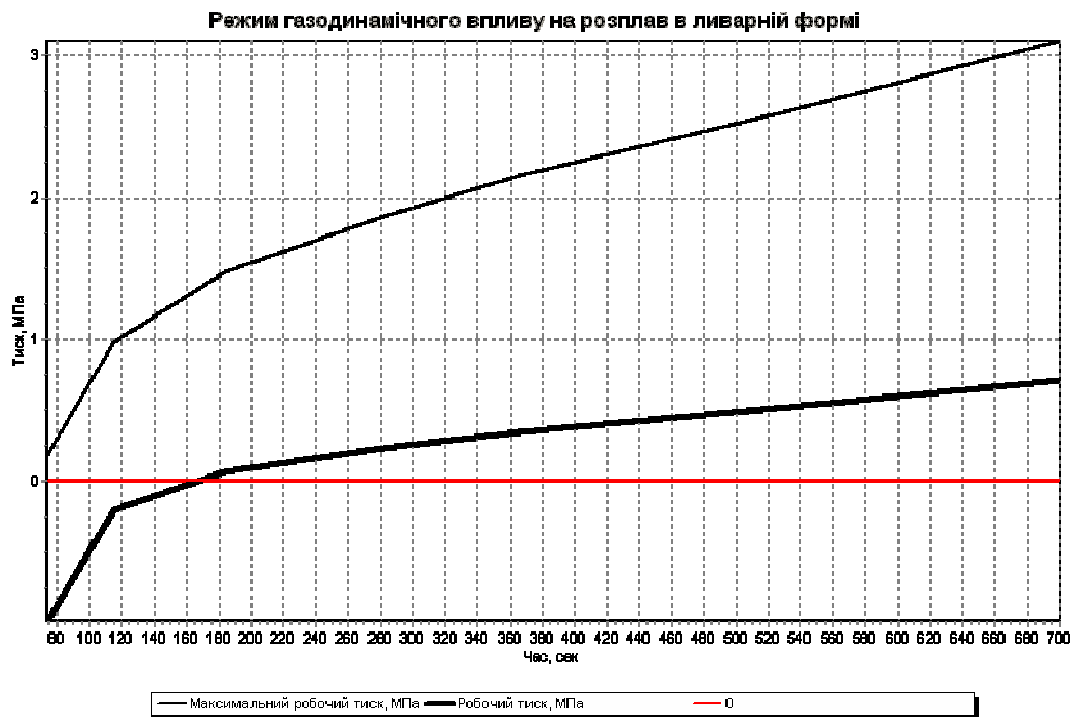


Рисунок 2 – Інтерфейс GDICalc, діалогове вікно
«Режим газодинамічного впливу», закладка «Графік»

Слід зазначити, що технологія може бути здійснена тільки в діапазоні значень тиску, більших за нуль, тобто для кожного вилівка

існує період часу, в який технологія газодинамічного впливу не може бути здійснена.

Висновки

Розроблена комп'ютерна програма GDICalc (Gas Dynamic Influence Calculation), що являє собою автоматизовану систему визначення режиму газодинамічного впливу на розплав, що твердне в ливарній формі.

Програма передбачає послідовність дій, що складається із 5 кроків: введення термочасових параметрів, введення значень тимчасового опору, введення значень опору деформації, введення додаткової інформації, візуалізація результатів розрахунку режиму газодинамічного впливу на розплав, що твердне в ливарній формі, у вигляді таблиці та графіка залежності тиску газу від часу.

Розроблений інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс GDICalc дозволяє в стислі строки опанувати процес розрахунків необхідних технологічних параметрів умовах діючого виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В. Методика расчета параметров газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (68). – Дніпропетровськ, 2010. – с. 186–192.
2. Селівьорстов В.Ю. Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокілі // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 1-2. – С. 41 - 45.
3. Михайловская Т.В., Селиверстов В.Ю. Компьютерный расчет температурного поля отливки и объемной песчаной формы для управления технологическими режимами // Вісник СевДТУ. Вип. 95: Автоматизація процесів та управління: зб. наук. пр. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2009. С. 158 – 161.
4. Селиверстов В.Ю., Хрычиков В.Е., Доценко Ю.В. Экспериментальное термографическое исследование затвердевания отливки из стали 35Л в кокиле // Теория и практика металлургии. – 2006. - №6. - С.29-32.
5. Селиверстов В.Ю. Особенности расчета режима газодинамического воздействия на расплав при кристаллизации отливок из сталей 35Л, Х18Ф1 и алюминиевого сплава АК5М в металлической форме // Теория и практика металлургии. – 2010. - № 1-2. – С. 64 – 67.

Одержано 21.04.2010р.

УДК 621.039.555

В.Ю. Плахотник, Г.А. Поляков

ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С КОДИРОВАННЫМИ АПЕРТУРАМИ

Анотація. В статті розглядаються томографічні можливості систем візуалізації гамма-випромінювання з кодованими апертурами. Методами математичного моделювання досліджений вплив дефокусування системи на її зображувальні властивості. Проаналізовані томографічні властивості систем візуалізації з одновимірними кодувальними масками на базі множин квадратичних лишків.

В области ядерной медицины и радионуклидной диагностики гамма-камеры являются основным инструментом для визуализации пространственных распределений гамма-излучающих радиофармацевтических препаратов (РФП). Получаемые с их помощью изображения распределений представляют собой двумерные проекции трехмерных распределений радиофармпрепаратов на плоскость детектора гамма-камеры. Для получения изображений трехмерных распределений в современных методиках ядерной диагностики применяют сканирование области интереса в теле пациента с различных направлений. Таким образом, в результате исследования получают несколько двумерных проекций распределения радиофармпрепарата в различных ракурсах. Эти распределения являются основой для восстановления трехмерных распределений радиоактивного препарата в теле пациента.

Для визуализация трехмерных распределений РФП с помощью гамма-камер требуется введение высоких активностей препаратов, т.к. качество получаемых изображений обусловлено количеством регистрируемых гамма-квантов. Альтернативой использованию гамма-камер в ядерной медицине может быть использование медицинских томографов, основанных на системах визуализации с кодированными апертурами.

Системы визуализации гамма-излучения с кодированными апертурами первоначально были разработаны для астрономических приложений. Они предназначались для получения изображений

источников на больших расстояниях (практически на бесконечности). Однако к настоящему времени уже создан ряд приборов, предназначенных для работы в ближнем поле.

Система получения изображения с кодированной апертурой основана на пространственном кодировании положения источника излучения с помощью кодирующей маски, состоящей из массива элементов, прозрачных для гамма-излучения и поглощающих его. Маска устанавливается между областью источников и позиционно-чувствительной детектирующей плоскостью так, что любой источник излучения в поле зрения, проектирует тень маски на детектирующую плоскость. Элементы маски распределены в соответствии с тщательно выбранным математическим алгоритмом так, что тень маски, проектируемая источником в любой позиции в поле зрения уникальна. Проекция имеет то же самое кодирование, что и маска, но сдвинута в соответствии с направлением на источник фотонов.

В течение единственного наблюдения позиционно-чувствительный детектор (ПЧД) собирает "тенеграммы" от каждого источника в поле зрения. Информация о позиции источника кодируется сдвигом тенеграммы, а интенсивность источника - мощностью тенеграммы. Следовательно, записанная тень может быть использована для восстановления положения и интенсивности источника.

Томографические свойства систем получения изображений с кодированными апертурами отмечались еще Barret [1] при исследовании Френелевской зонной пластинки. Дальнейшее развитие исследования томографических возможностей кодированных апертур получили в работах Cannon и Fenimore [2,3].

Известно, что для использования в качестве кодирующих последовательностей наиболее подходящими являются равномерно избыточные массивы, имеющие автокорреляционную функцию в виде ограниченной δ -функции. Чаще всего в практике используются массивы на основе квадратичных вычетов [4] и на основе циклических кодов [5], так как с их помощью возможно создание прямоугольной кодированной апертуры. В [3] были исследованы томографические свойства этих двух типов массивов. Установлено, что массив на основе циклического кода предпочтительнее для

томографических целей, чем массив на основе квадратичных вычетов. По мнению авторов [3], это связано с "более случайной" природой циклического кода, что позволяет проявить хорошие дефокусирующие свойства случайного массива. Однако исследователи и разработчики приборов с кодированными апертурами отмечают сравнительно невысокое разрешение по глубине в томографических системах.

Одна из первых попыток реализации томографических возможностей систем получения изображений с кодированными апертурами описана в [6]. Разработанный гамма-микроскоп с кодированной апертурой предназначен для изучения *in vivo* распределения радиофармацевтических препаратов в теле малых животных. Физическая схема получения томографической информации показана на рис. 1. Отсюда, очевидно что, для получения значительного различия теней от источников, находящихся на различной глубине, детектор должен быть непрерывным (типа гамма-камеры) или иметь высокое пространственное разрешение.

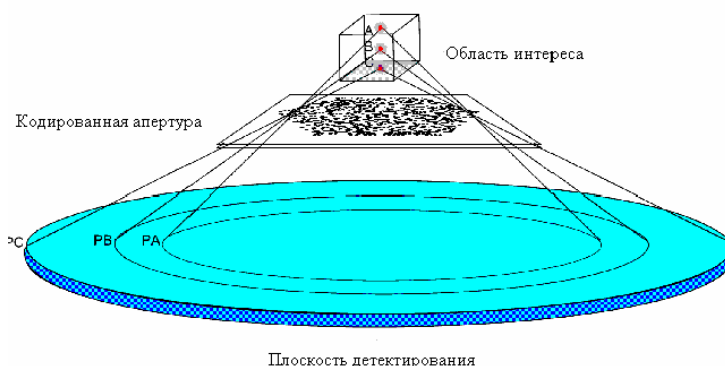


Рисунок 1 – Принцип получения томографической информации с помощью кодированной апертуры

Авторами работы был изготовлен прототип аппарата и проведены экспериментальные исследования, направленные на разработку оптимальных методов обработки результатов наблюдений с целью получения томографической информации об объекте. Были опробованы методы корреляционного анализа и методы максимального правдоподобия. Отмечено, что трехмерная реконструкция объекта при помощи единственной кодированной апертуры возможна, но требуется разработка специальных методов обработки результатов измерений и оптимальных кодирующих масок.

В последние несколько лет разработчики медицинской аппаратуры обратили внимание на использование кодирующих масок вместе с медицинскими гамма-камерами [7,8]. В работах изучены изображающие свойства кодирующих масок различных размерностей, показаны их принципиальные томографические возможности. Однако, до настоящего времени в работах, относящихся к разработке систем визуализации гамма-излучения с кодированными апертурами не разработан общий подход к оценке томографических свойств систем с кодирующими масками различной размерности и выбору оптимальной геометрии системы визуализации.

Цель нашей работы – оценка томографических свойств линейных (одномерных) кодирующих масок в зависимости от их размерности и оптимизация геометрии системы визуализации.

В типовой постановке задача создания прибора с кодированной апертурой состоит в проектировании устройства для визуализации γ -излучающих объектов, находящихся на расстоянии b от точки наблюдения, с позиционным разрешением s . При этом задается либо размер поля зрения либо размер наблюдаемого объекта и минимальная чувствительность (в активности определенного нуклида или в плотности потока γ -квантов в плоскости ПЧД).

Рассмотрим классическую схему прибора, показанную на рисунке 2. Здесь для примера приведена схема прибора с размерностью кодирующей маски равной 7 и позиционно-чувствительным детектором (ПЧД) дискретного типа.

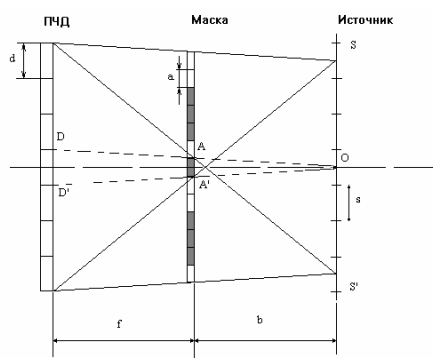


Рисунок 2 – Геометрия системы визуализации с кодированной апертурой

Обозначения на рисунке 2:

d - шаг установки детекторов ПЧД

a - размер элемента маски

s - размер элемента разрешения

f - расстояние ПЧД-маска

b - расстояние маска-плоскость источников (фокальная плоскость)

Все геометрические соотношения очевидны из рисунка и получаются из простого соотношения геометрической оптики, следующего из подобия треугольников ODD' и OAA' :

$$\frac{d}{a} = \frac{f+b}{b} = 1 + \frac{f}{b} = m \quad (1)$$

В зарубежной литературе это соотношение называют коэффициентом увеличения. Соотношение (1) верно для фокальной плоскости источников, т.е. когда размер тени элемента маски равен размеру детектора. Если же источник находится на расстоянии $(b+z)$ от маски, то размер тени элемента маски относительно размера детектора определяется через коэффициент масштабирования:

$$k(z) = \frac{1}{m} \cdot \left(1 + \frac{f}{b+z} \right) \quad (2)$$

Здесь z – расстояние от фокальной плоскости до плоскости источников. Очевидно, что коэффициент масштабирования может быть больше или меньше 1 в зависимости от знака z и значение этого коэффициента будет определять уровень дефокусировки тенеграммы.

Из теории кодированных апертур известно, что функция рассеяния точки (ФРТ) для системы с идеальным кодированием (например, квадратично-вычетные и циклические коды Хэмминга) представляет собой ограниченную δ -функцию – единственный пик с плоскими боковыми лепестками. На рисунке 3а) показан пример ФРТ системы визуализации с кодирующей маской длиной 31 элемента 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 3б)).

В качестве параметра оценки влияния дефокусировки нами был принят контраст источника, определяемый как отношение

превышения амплитуды пика над средним положительным фоном к среднему положительному фону.

$$C = \frac{P - B}{P + B} \quad (3)$$

Здесь P – высота центрального пика в восстановленном распределении источников, B – средний положительный фон. Средний положительный фон определяем как отношение суммы всех положительных элементов восстановленного распределения к числу этих элементов.

$$B = \frac{\sum_i (\text{Pic}_i > 0)}{\sum_i (1, \text{if}(\text{Pic}_i > 0))} \quad (4)$$

где Pic_i – элемент восстановленного распределения источников.

При таком определении контраста понижение амплитуды центрального пика не приводит к уменьшению контраста при отсутствии положительного фона.

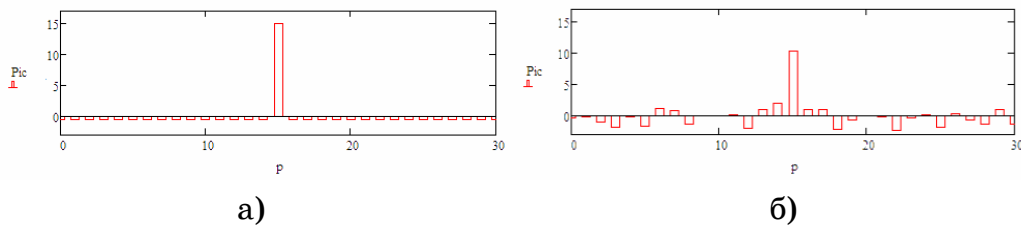


Рисунок 3 – ФРТ системы визуализации с кодированной апертурой:

а) источник в фокальной плоскости; б) источник вне фокальной плоскости

Для оценки томографических свойств кодированных апертур мы исследовали кодирующие маски, построенные на базе множеств квадратичных вычетов. На данном этапе исследований мы ограничились одномерными кодирующими масками. По нашему мнению, одномерные маски имеют такие же свойства визуализации, как и двумерные маски на базе множеств квадратичных вычетов, поэтому ограничение исследуемой размерности несколько не ограничивает общности выводов.

Для исследования томографических свойств на основе общей теории кодирования апертуры была создана математическая модель детерминированного кодирования с учетом дефокусировки. Математическая модель была реализована в среде MathCAD 14,

восстановление распределений источников и анализ результатов также производился с помощью стандартных средств MathCAD.

Известно, что кодирующая маска на базе множества квадратичных вычетов может быть построена по основанию простого числа. При этом не все такие маски имеют идеальную ФРТ. Среди первой сотни целых чисел кодирующая маска с идеальной ФРТ может быть построена по основанию следующих чисел: 7, 11, 19, 23, 31, 43, 47, 59, 67, 71, 79, 83, 103.

На рисунке 4 а) – в) показаны зависимости контраста центрального пика для кодирующих масок приведенных выше размерностей от значения коэффициента масштабирования. Маска размерности 7 не исследовалась из-за слишком малой длины и практической нечувствительности к дефокусировке.

Зависимости контраста от коэффициента масштабирования для малоразмерных масок (рисунок 4 а)) показывают довольно широкие области нечувствительности или малой чувствительности кодированных апертур к дефокусировке. Это проявляется в участках постоянного значения контраста при изменении коэффициента масштабирования (плосковершинность). Только начиная с размерности маски 31, зависимость контраста приобретает вид выраженного пика (рисунок 4 б) – 4 в)).

Обращает на себя внимание и тот факт, что ширина пика в зависимости контраста имеет тенденцию к уменьшению с возрастанием размерности кодирующей маски. Таким образом, при увеличении размерности маски возрастает чувствительность системы визуализации с кодированной апертурой к дефокусировке, а, следовательно, улучшается и томографическое разрешение.

Очевидно, что удовлетворительные или приемлемые значения томографического разрешения в системах визуализации с кодированными апертурами можно получить только при использовании масок большой размерности. Однако, изменение коэффициента масштабирования (2) при изменении расстояния до плоскости источников в значительной мере зависит от геометрических параметров системы визуализации. Изменение коэффициента масштабирования тем значительнее, чем меньше расстояние детектор-маска в системе визуализации. Таким образом, оптимизация томографических возможностей системы визуализации

с кодированной апертурой требует учета таких параметров изучаемых пространственных распределений, как расстояние до объекта и возможная его глубина.

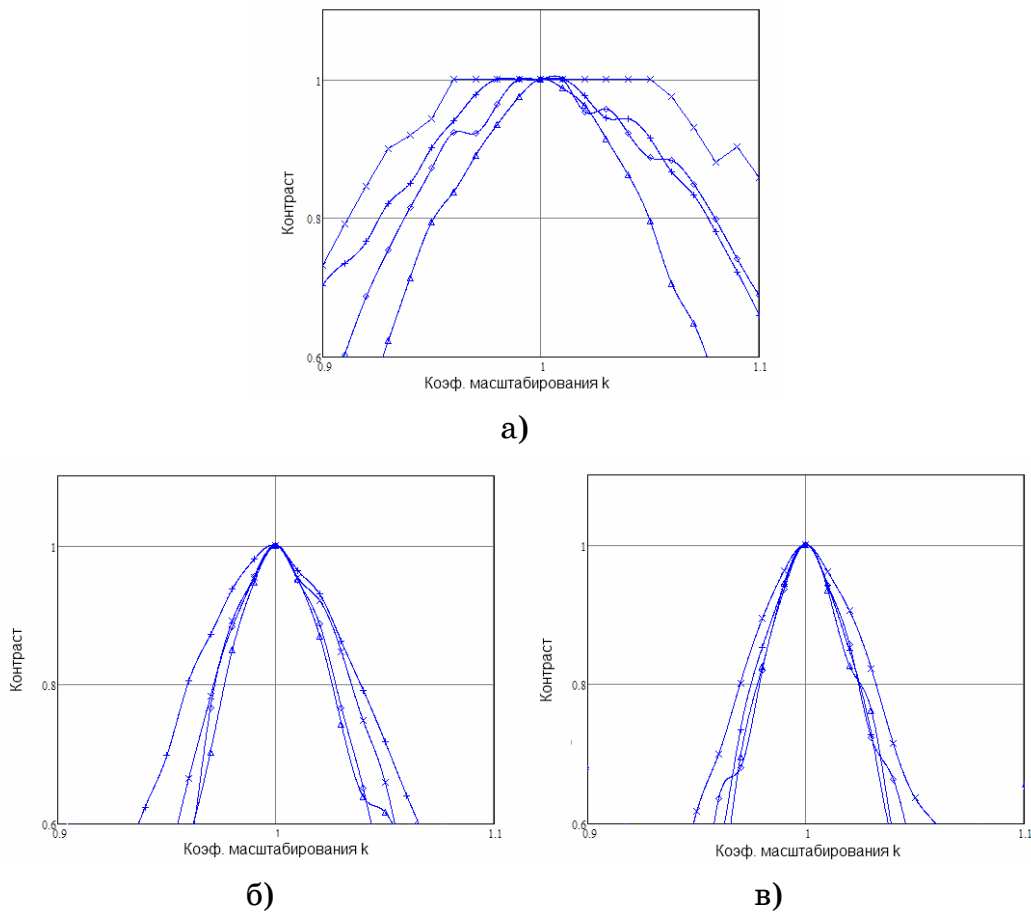


Рисунок 4 – Зависимость контраста центрального пика для кодирующих масок различной длины (размерности) от значения коэффициента масштабирования:

а) $\times \times \times \times$ - длина 11; б) $\times \times \times \times$ - длина 43; в) $\times \times \times \times$ - длина 71;
 $+ + + +$ - длина 19; $+ + + +$ - длина 47; $+ + + +$ - длина 79;
 $\diamond \diamond \diamond \diamond$ - длина 23; $\diamond \diamond \diamond \diamond$ - длина 59; $\diamond \diamond \diamond \diamond$ - длина 83;
 $\triangle \triangle \triangle \triangle$ - длина 31; $\triangle \triangle \triangle \triangle$ - длина 67; $\triangle \triangle \triangle \triangle$ - длина 103

Проведены исследования томографических возможностей систем визуализации гамма-излучения с кодированными апертурами. Изучены зависимости параметров восстановленных изображений от величины дефокусировки системы. Установлено, что томографические возможности систем визуализации улучшаются с увеличением размерности кодирующей маски. Настоящее исследование было ограничено одномерными кодирующими масками

на базе множества квадратичных вычетов. Будущие исследования будут направлены на исследование двумерных масок и масок на базе циклических кодов Хэмминга.

ЛИТЕРАТУРА

1. H.H. Barret. Journal of Nuclear Medicine, 1972, v.13, p.382.
2. E.E. Fenimore, T.M. Cannon. Coded Aperture Imaging with Uniformly Redundant Arrays. Applied Optics, 1978, v.17, No.3, pp.337-347
3. T.M. Cannon, E.E. Fenimore. Tomographical Imaging Using Uniformly Redundant Arrays. Applied Optics, 1979, v. 18, No.7, p.1052-1057.
4. Холл М. Комбинаторика / М.Холл - М.: Мир, 1970. - 424 с.
5. Бородин Л.Ф. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования / Л.Ф. Бородин - М.: Советское радио, 1968. - 408 с.
6. M. Dallimore, I.D. Jupp, P.T. Durrant, D. Ramsden. Preliminary Results from a 3-D Coded Aperture Microscope for I125 Imaging. Poster at IEEE Medical Imaging Conference, Toronto, 1998.
7. Марков С.В. Томографическая гамма-камера со сменными кодирующими коллиматорами. / С.В. Марков, В.М. Немчинов, Д.С. Семенов, Г.А. Федоров. // Материалы международного симпозиума «Качество, инновации, образование и CALS-технологии». [под ред. д.т.н. профессора В.Н.Азарова] - М.:Фонд "Качество" – , 2005. – 258 с., с. 92-96.
8. Казачков Ю.П. Применение кодированных апертур в медицинских гамма - камерах / Ю.П. Казачков, Д.С. Семенов, Н.П. Горячева // Приборы и техника эксперимента, - 2007, №2, с.131-139.

Получено 23.04.2010г.

УДК 539.122.164.074.3

П.Ю. Войлов, А.А. Ильченко, В.Д. Шаповалов

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ В
ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОИЗОТОПНОГО СОСТАВА
ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Анотація. У статті розглянуті деякі питання побудови системи ідентифікації радіонуклідів по їх спектру методом прямого порівняння. Сформульований принцип роботи ієрархічної системи ідентифікації. Запропоновано спосіб обчислення граничної кількості моделей в базі, а також спосіб оцінки ефективності вибраної міри близькості. Виконаний ряд експериментів, на базі яких створений макет системи ідентифікації.

Введение

Задача идентификации радиоизотопного состава источников ионизирующего излучения занимает одно из центральных мест в разработке и эксплуатации средств радиационного мониторинга окружающей среды. Особый интерес при этом представляют методы, позволяющие идентифицировать источники смешанного состава с двумя и более компонентами с неизвестным заранее соотношением удельных активностей. Задача существенно усложняется при использовании сцинтилляционных кристаллов с малым энергетическим разрешением (NaI(Tl), CsI(Tl)) и значительными вариациями геометрии измерений.

Для решения этой задачи разработано большое количество подходов и алгоритмов [1]. Описанное в [2] успешное решение задачи при помощи нейронных сетей получено для малого числа изотопов; кроме того, нейросетевой подход сопряжен с известными трудностями при обучении. Методы идентификации по фотопикам (например, [3]) дают удовлетворительные результаты, однако, при неизвестной геометрии измерения, оценка удельных активностей источников может вызывать трудности. В [4] описан подход, близкий к процедурам идентификации голоса; он предполагает использование энергетических спектров функций, причем идентификация выполняется классификаторами, основанными на вычислении расстояния Кульбака-Лейблера между исследуемым и библиотечными

© Войлов П.Ю., Ильченко А.А., Шаповалов В.Д., 2010

спектрами, авторами [4] показана высокая эффективность разработанной ими модели, однако вопрос идентификации в условиях экранирования (особенно смесевых изотопов) ими на данный момент не решен.

При проведении полевых измерений в условиях неопределенности, типичных для радиационного мониторинга на местности, эффективным подходом может являться метод прямого сравнения, в котором исследуемый спектр сравнивается с библиотечным набором, полученным для широкого набора геометрий (включая меняющиеся состав и толщину защиты, расстояние до источника и т.п.) Этот набор может быть весьма велик за счет моделирования синтетических спектров для сотен тысяч комбинаций геометрий защит и комбинаций источников, и охватывать весь диапазон геометрий и ситуаций, предусмотренных техническим заданием.

Такая организация позволит свести процесс идентификации к поиску n ближайших соседей среди библиотечных спектров, с последующим анализом качественных признаков, свойственных этим спектрам (поиск общностей в составе источников, геометриях и т.п.), что позволит сделать окончательный вывод о радиоизотопном составе и геометрии измерения. Очевидно, такая система должна включать в себя значительный объем реальных и синтетических данных. Поиск в такой системе может быть разделен на несколько уровней, т.е. база спектров будет иметь иерархическую структуру, которая может быть организована при помощи методов кластерного анализа. Для организации поиска в такой большой по объему системе должны использоваться методы и алгоритмы разведки данных (так, для организации поиска могут быть использованы древовидные структуры, индексирование, локально-чувствительные хеширующие функции и т.п. [5])

Целью данной работы является исследование некоторых основных требований к библиотеке данных для системы идентификации источников ионизирующего излучения по спектрам, регистрируемым сцинтилляционными детекторами; решаются задачи определения количества хранимых моделей, а также предлагается проверка эффективности меры близости, используемой при

идентификации, при помощи критерия десятикратной стратифицированной кросс-проверки.

Иерархическая библиотека спектров

Формирование уровней системы

Как уже отмечено выше, система идентификации радиоизотопов может иметь несколько уровней, в простейшем случае рассмотрим вариант с двумя уровнями. На первом шаге в такой системе исследуемый спектр сравнивается, используя некоторую метрику L_x , со множеством спектров, представляющих собой центроиды кластеров, создаваемых по каждому целевому классу. Таким образом, на первом шаге отбираются k ближайших центроид и соответствующих классов, которые составлены моделями, соответствующими определенному радионуклидному составу источника, и отличающимися лишь геометрией эксперимента. Для расчета z -го канала центроиды v может использоваться выражение (1).

$$v_z = \frac{u_z \sum_{i=1}^a p_i s_i^{(z)}}{\sum_{i=1}^a p_i \sum_{ij=1}^b u_j} \quad (1)$$

где u_j – каналные весовые коэффициенты, определяющие вклад j -го канала в систему, p_i – модельные весовые коэффициенты, определяющие вклад i -й модели в центроиду класса, $s_i^{(z)}$ – значение z -го энергетического канала в модели s_i .

На втором шаге целевой спектр, используя эту же или иную метрику, сравнивается непосредственно со всеми моделями, входящими в отобранные классы, и отбираются модели, ближайшие к исследуемому спектру.

На третьем шаге выполняется интерпретация набора отобранных ближайших моделей (при малых расстояниях, соответствующих высокой степени близости исследуемого и библиотечного спектров), которая позволит выполнить более точную оценку активностей в смесевых изотопах и т.п. В простейшем случае (или при высокой степени неопределенности) на третьем шаге может отбираться лишь одна ближайшая модель.

Разумеется, для большого количества моделей система может и должна быть масштабирована на более, чем два шага поиска, и будет

представлять собой иерархическую кластерную структуру, на каждом уровне которой может использоваться своя метрика, свои наборы коэффициентов или пространства признаков и т.п. Вопрос организации таких структур требует отдельного рассмотрения.

Требуемое количество моделей

Практический интерес представляет количество моделей, потребных для формирования такой системы. Пусть система представляет собой предельный случай, соответствующий полному перебору, при котором имеется база знаний, содержащая модели для всех возможных ситуаций, включающих наличие преград, множество библиотечных изотопов и возможность идентификации смесевых источников с различными удельными активностями компонентов. Тогда для расчета числа моделей, полностью описывающих все возможные ситуации (т.е. полный набор), можно использовать выражение (2).

$$M(n, l, g, d) = g \sum_{i=1}^l \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot f(i, d) \quad (2)$$

где n – общее число идентифицируемых радионуклидов в библиотеке, l – максимально возможное число радионуклидов в смеси, g – количество геометрий («фактор размытия»), d – число дискретных уровней значений удельных активностей A_i изотопов в смеси, таких, что:

$$\sum_{i=1}^q A_i = l; q \in \{1, 2 \dots l\}; \quad (3)$$

$$A_i = k \cdot \frac{1}{d}; k \in \{1, 2 \dots d-1\}$$

и $f(i, j)$ – рекурсивная функция, описывающая число сочетаний таких удельных активностей в смеси, и равна:

$$f(i, j) = \begin{cases} f(1, j) = 1 \\ f(i, j) = \sum_{k=1}^{j-i+1} f(i-1, j-k) \end{cases} \quad (4)$$

Очевидно, что при $l = 1$, число m определяется лишь числом изотопов и числом геометрий (и равно их произведению). В частном же случае, достаточно близком к реальной задаче, для библиотеки из 20 изотопов, с возможностью идентифицировать смеси до 5 изотопов с удельными активностями, принимающими значениями из ряда $A_i = \{0,1, 0,2 \dots 0,9\}$, на расстояниях 1,0 .. 5,0 м с шагом 1,0 м, с тремя

вариантами преград (без преграды, сталь 3 мм и сталь 5 мм) количество моделей будет равно $M(20, 5, 15, 10) \sim 36 \cdot 106$. На рис.1 представлены зависимости полного числа моделей от числа изотопов n для $g = 15$ и $d = 10$ при $l = 5, 4, 3, 2$ и 1 (сверху вниз). Как видно из графика, влияние l оказывается, в целом, более выраженным, нежели влияние n .

Приведенная зависимость позволяет оценить сложность базы знаний, но, разумеется, полный набор избыточен, и на практике необходимости в построении такого количества моделей не будет. Реальная база будет содержать значительно меньшее число моделей, что может быть связано с различными обстоятельствами. Среди общих для всех практических задач обстоятельств, которые могут на порядки уменьшить число хранимых моделей, можно выделить следующие:

- малые расстояния между некоторыми моделями, что делает нецелесообразным хранение избыточных вариантов;
- ограничения, накладываемые техническим заданием (например, необходимость одновременной идентификации лишь ограниченного набора смесевых источников).

Кроме того, некоторые факторы, влияющие на размер базы, могут быть индивидуальными для различных задач. Так, для указанного выше примера базы характерно следующее:

- малое рассеяние на воздухе излучения для высокоэнергетических источников и их комбинаций;
- эффективное рассеяние на преграде малых энергий делает невозможным выход излучения за пределы преграды.

Очевидно, хранение данных по таким геометриям и сочетаниям источников нецелесообразно.

Эффективность метрики

Большой интерес представляет вопрос выбора метрики в пространстве спектров. Известно большое число различных мер расстояния, кроме того, пространство признаков (спектров) также может быть подвергнуто преобразованиям вдоль некоторых из своих координат (выделение энергетических окон, назначение весовых коэффициентов и т.п.). Поскольку еще в [6] показано, что не существует единого алгоритма, который мог бы решать задачу кластеризации для любой конфигурации представляющих точек,

задача выбора метрики для заданного пространства признаков должна решаться заново для каждой конкретной задачи и набора моделей.

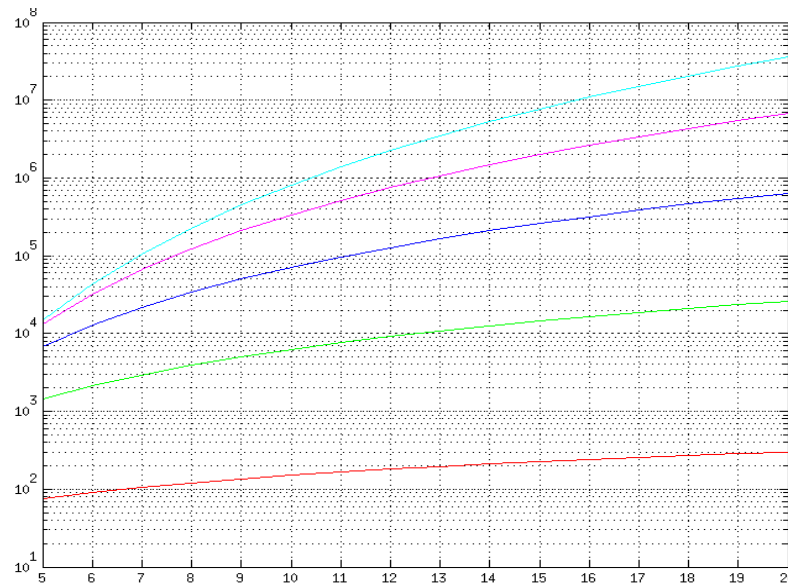


Рисунок 1 – Зависимость полного числа требуемых моделей от n для $l = 5, 4, 3, 2$ и 1 (сверху вниз)

Опишем простейший алгоритм такой проверки. Рассматривая метрику как часть классификатора, оценка её эффективности может быть сделана при помощи метода 10FSCV (стратифицированной десятикратной кросс-проверки) [7]. На нулевом шаге проводится стратификация обучающей выборки, которая будет заключаться в группировке множества точек обучающей выборки, соответствующих каждому классу (а таковым множеством в рассматриваемой задаче являются множество из g моделей для каждого нуклида или смесового источника) и определении вида функции $w(j, t)$ для выбора тестируемых моделей. Затем выполняется собственно десятикратная кросс-проверка, когда на каждом шаге из каждого класса изымается набор из $g/10$ моделей, проводится заново вычисление центроид, по которым выполняется идентификация изъятых моделей. Следует особо подчеркнуть, что для двухшаговой идентификации, описанной выше, под корректной идентификацией следует понимать вхождение истинного кластера в число найденных k ближайших кластеров, причем в общем случае $k > 1$. Тогда для набора из q метрик наиболее эффективной будет являться такая метрика L , для которой вероятность корректной идентификации:

$$P_x = \sum_{t=1}^{10} \frac{\sum_{c=1}^k \sum_{j=1}^{g/10} G_c(s_{w(t,j)}, V_t, L_x)}{M(n, l, g, d)} \rightarrow \max(P_x), x \in \{1, \dots, q\} \quad (5)$$

где $G_c(s_i, V_t, L_x)$ – функция такая, что:

$$G_c(s_i, V_t, L_x) = \begin{cases} 1, & \text{центроида истинного класса} \\ & \text{модели } s_i \text{ является с – м ближайшим} \\ & \text{соседом } s_i \text{ среди центроид} \\ & \text{кластеров разбиения } V_t \text{ для метрики } R_x \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

s_i – i -я модель, $i \in \{1, \dots, M(n, l, g, d)\}$, $w(t, j)$ – некая функция выбора из класса j -й тестируемой модели для t -го шага, удовлетворяющая условию стратификации, V_t – t -е множество $\frac{M(n, l, g, d)}{g}$ центроид,

рассчитанных за вычетом t -го множества $\frac{g}{10}$ моделей.

Тогда вероятность ошибки $1-P_x$ для метрики L_x , очевидно, есть вероятность попадания истинного кластера в число $k+1 \dots \frac{M}{g}$ ближайших соседей.

Экспериментальные исследования

Для проверки некоторых базовых свойств предлагаемой системы идентификации была выполнена следующая работа. Был построен макет системы идентификации из $M(2, 2, 40, 10)$ моделей, для чего была выполнена серия из 80 базовых измерений для двух изотопов, ^{137}Cs и ^{133}Ba , размещаемых на малом удалении от гамма-сканера (0,25..2 м, шаг 0,25 м) за преградами различной толщины и состава (сталь толщиной 1 мм, 3 мм и 5 мм, дерево и пластик), излучение которых регистрировалось гамма-сканером (кристалл CsI(Tl) $\Pi 50\text{Ч}100$ мм). Согласно (2) $M(2, 2, 40, 10) = 440$; недостающие 360 смесевых спектров были получены аддитивно из базовых измерений. Центроиды кластеров (усредненные спектры по всему набору геометрий для данного изотопа или смеси) представлены на рис. 2. На этом же рисунке выделен точками один из экспериментальных спектров; хорошо видны отличия от любой из полученных центроид.

Сравнительная эффективность работы различных метрик в исходном и спроецированном пространствах оценивалась методом десятикратной стратифицированной кросс-проверки для четырех метрик: метрики Минковского (6) для случаев манхэттенского ($p = 1$) и эвклидова ($p = 2$) расстояния, метрики Чебышева (7) и корреляционной метрики (8) [5]:

$$L_p[(x_1, \dots, x_n), (y_1, \dots, y_n)] = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p} \quad (6)$$

$$L[(x_1, \dots, x_n), (y_1, \dots, y_n)] = \lim_{k \rightarrow \infty} \left(\sqrt[k]{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^k} \right) \quad (7)$$

$$L[(x_1, \dots, x_n), (y_1, \dots, y_n)] = 1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \right) \quad (8)$$

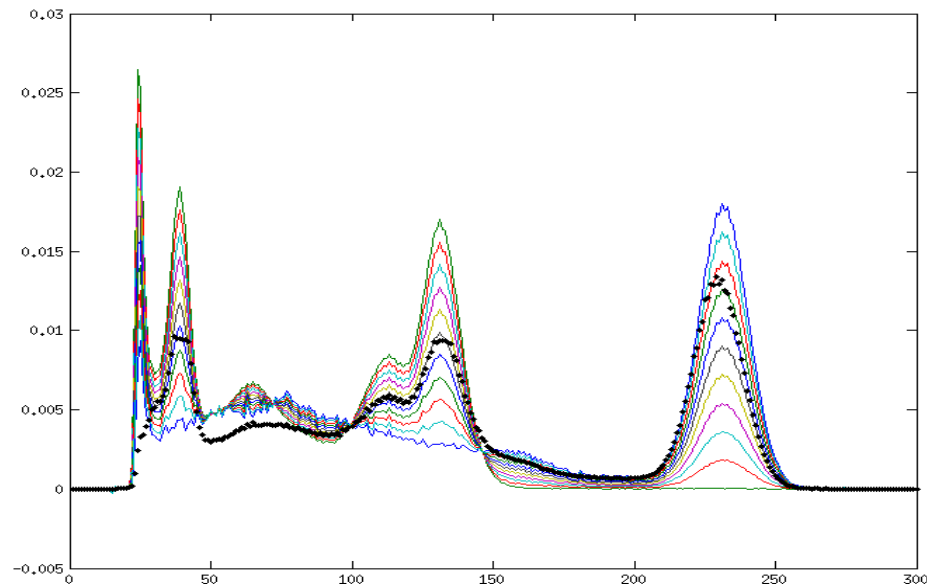


Рисунок 2 – Нормированные центроиды кластеров (по оси абсцисс – номер энергетического канала)

Мы намеренно ограничили здесь набор вариантов простейшими метриками, не рассматривая, например махаланобисову меру, меру EMD и т.п. Это связано с тем обстоятельством, что потери процессорного времени на более сложные алгоритмы (особенно EMD) будут весьма велики, поэтому их применение должно быть обосновано, а эффективность подтверждена экспериментально. Рассмотрению данного вопроса авторы планируют посвятить отдельную работу.

В таблице 1 приведены результаты десятикратной стратифицированной кросс - проверки (выполненной в соответствии с соображениями, изложенными выше) для $q = 8$ метрик, по четыре метрики для двух вариантов пространства признаков. В первом варианте признаки рассматриваются в окне, ограниченном [30; 300] каналами (фактически, для ^{133}Ba и ^{137}Cs – полное энергетическое окно за исключением потенциально зашумленных нижних каналов). Во втором варианте рассматривается комбинированное окно в двух диапазонах - [100; 150] и [200; 300] каналов (пики полного поглощения). Приведены вероятности выбора истинного кластера при $k = 3$ для первой, второй и третьей ближайших центроид, а также вероятность ошибки.

По приведенным результатам видно, что для данного макета наиболее эффективной является метрика Минковского и диапазон [30; 300] каналов. Из соображений увеличения быстродействия можно рекомендовать манхэттенскую меру.

Здесь следует отметить, однако, что авторами установлено существенное снижение эффективности манхэттенской меры при работе в пространстве признаков уменьшенной размерности (например, с применением анализа главных компонент). Поскольку снижение размерности является одним из важнейших способов увеличения быстродействия системы идентификации, в общем случае эвклидова мера является более предпочтительной для использования. Подробное рассмотрение этого вопроса, как и исследование эффективности различных методик снижения размерности, впрочем, выходит за рамки данной работы, поскольку требует значительного расширения макета системы.

Таблица 1

Результаты применения метода 10FSCV для проверки эффективности мер близости на макете системы идентификации

Мера	Полный спектр				Работа в окнах			
	I	II	III	-	I	II	III	-
Манхэттенская	0,72	0,25	0,03	0	0,33	0,23	0,14	0,30
Эвклидова	0,68	0,30	0,02	0	0,34	0,24	0,14	0,28
Чебышевская	0,53	0,26	0,14	0,08	0,36	0,24	0,16	0,24
Корреляционная	0,54	0,30	0,13	0,03	0,09	0,09	0,09	0,73

Выводы

Рассмотрены некоторые общие соображения и принципы построения системы идентификации радионуклидов по их спектру, сформулированы основные требования к такой системе. Предложены способ вычисления граничного количества моделей в базе, который может использоваться для грубой оценки сложности разрабатываемой системы, а также способ оценки эффективности выбранной меры близости, показаны результаты на макете системы идентификации.

Целями дальнейших исследований являются:

- методы и алгоритмы кластеризации и построение иерархической поисковой системы;
- алгоритмы и методы снижения размерности данных на каждом уровне;
- методы и алгоритмы разведки данных для организации поиска на каждом уровне иерархической системы.

Разумеется, эти вопросы должны решаться для конкретного набора спектральных данных, что делает необходимым расширение тестовой базы за счет синтетических и реальных спектров, с учетом влияния вариаций калибровки и соотношения сигнал-шум в исследуемом спектре.

ЛИТЕРАТУРА

1. T. Burr, M. Hamada, "Radio-Isotope Identification Algorithms for NaI γ Spectra" - Algorithms, Vol.2, No.1, 2009.
2. Кочергин А. В., Пивоварцев С. С. Нейронная сеть для идентификации нуклидов по гамма спектру /«Искусственный интеллект» - Донецк, 2008г., №4, с.600-604.
3. Кочергин А. В. Идентификация радионуклидов в сцинтилляционной гамма спектрометрии методом разложения / А.В. Кочергин // ВНУ (электрон. издание) - №5Е/2009.
4. L. M. D. Owsley, J. J. McLaughlin, L. G. Cazzanti and S. R. Salaymeh. Using Speech Technology to Enhance Isotope ID and Classification. - Proc. IEEE Nuclear Science Symposium, Orlando, FL, October 2009.
5. P. Zezula, G. Amato, V. Dohnal, M. Batko. Similarity Search. The Metric Space Approach. – Springer Science+Business Media, Inc. 2006.
6. Backer E. Cluster analysis by optimal decomposition of induced Fuzzy sets. Delftse Universitaire Pres, Delft, Holland, 1978.
7. R. Kohavi A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Selection and Model Estimation. - Proc. of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence 2 (12), 1995.

Получено 25.04.2010г.

УДК 621-31

Н.Г. Мороз

АНАЛОГОВЫЙ ПРОЦЕССОР ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Анотація. У роботі представлений варіант реалізації аналогового процесора для спектрометра іонізуючих випромінювань. Проведене моделювання роботи його основних вузлів за допомогою програмного симулятора Spice.

Введение

Все возрастающее применение ядерной энергии в различных отраслях народного хозяйства привело к быстрому развитию ядерного приборостроения. Одним из основных методов исследования свойств ионизирующих излучений является метод спектрометрии. Спектрометры ионизирующих излучений применяют для решения двух основных задач – идентификации радионуклидов и измерения их количественных характеристик.

Появление аналоговых процессоров (АП) – центральных устройств электронных трактов спектрометров ионизирующих излучений, выполняющих заданный комплекс преобразований аналоговой информации об энергетическом составе и интенсивности измеряемого излучения, которая поступает в виде электрических импульсов от блока детектирования – закономерный этап в развитии спектрометрической аппаратуры.

Состояние вопроса и постановка задачи исследования

Первый аналоговый процессор был разработан К. Кандиа и др. [1]. Процессоры этого класса так же называют харуэллскими – по наименованию местности, где расположен центр ядерных исследований Великобритании – организации-разработчика прибора. Его структурная схема и временные диаграммы работы спектрометрического формирователя, центрального органа процессора, приведены на рис. 1. В основе этого процессора лежит спектрометрический времявариантный формирователь, имеющий весовую функцию, подобную так называемой ограниченной CUSP-форме.

© Мороз Н.Г., 2010

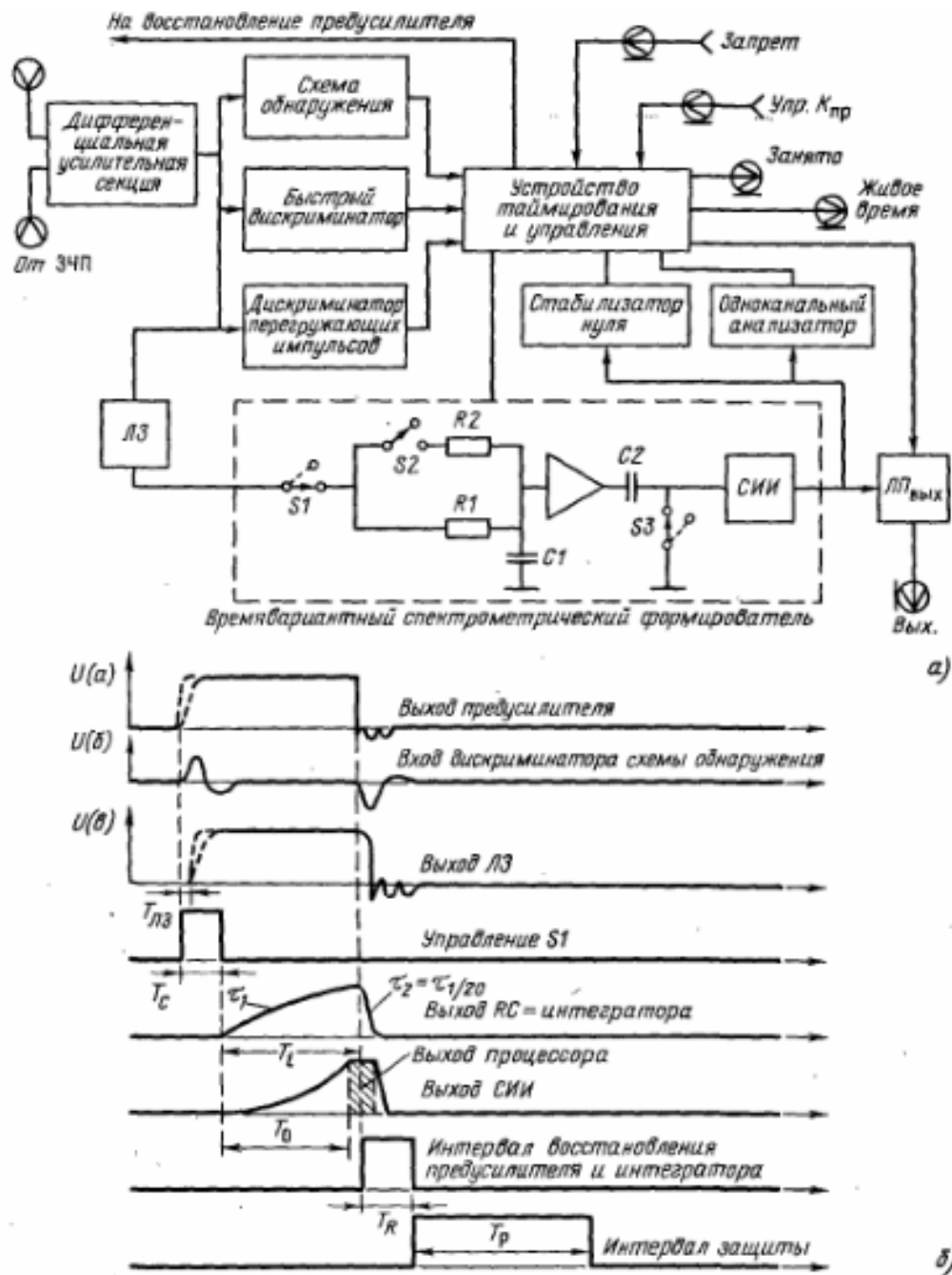


Рисунок 1 - Харуэллский процессор:

а – структурная схема; б – временные диаграммы

Задачей настоящего исследования является создание АП удовлетворяющего критериям, сформулированным в [2]:

функциональная полнота при минимальной структурной избыточности, конструктивном единстве и более высоких или экстремальных точностных характеристиках по сравнению со спектрметрическими усилителями с тем же видом формирования;

централизованное управление оперативно-изменяемыми параметрами;

«распределенность» функций между отдельными элементами структуры и совмещение их с отдельными элементами;

наличие дополнительных сервисных устройств, обычно отсутствующих в спектрометрических усилителях,

а так же моделирование работы предлагаемого аналогового процессора с помощью программного симулятора Spice.

Практическая реализация аналогового процессора для спектрометра ионизирующих излучений

Предлагаемая концепция построения АП показана на структурной схеме рис. 2.

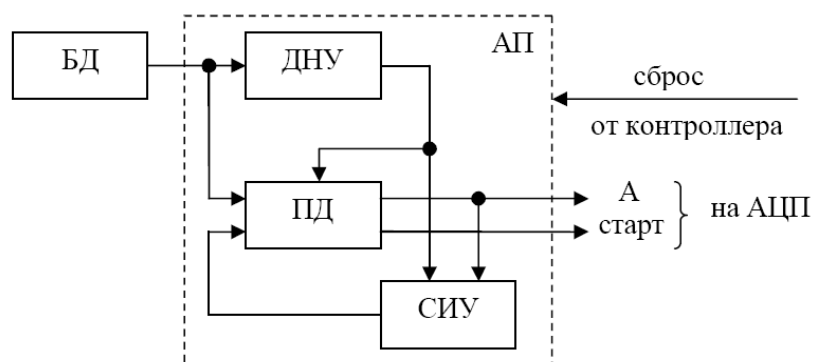


Рисунок 2 - Структурная схема предлагаемого аналогового процессора

Спектрометр, в основе которого применен аналоговый процессор АП, содержит:

блок детектирования БД, включающий усилитель-формирователь, с выхода которого снимаются импульсы напряжения с заданными параметрами;

аналоговый процессор АП;

аналого-цифровой преобразователь АЦП, получающий от АП аналоговый сигнал А и запускающий сигнал «старт»;

контроллер, управляющий сбором спектрометрической информации.

В состав АП входят: дискриминатор нижнего уровня ДНУ; пиковый детектор ПД; стабилизатор исходного уровня СИУ.

ДНУ формирует логические импульсы, начало и конец которых совпадают по времени с началом и концом соответствующих сцинтилляционных сигналов. Его упрощенная схема и временные диаграммы приведены на рис. 3.

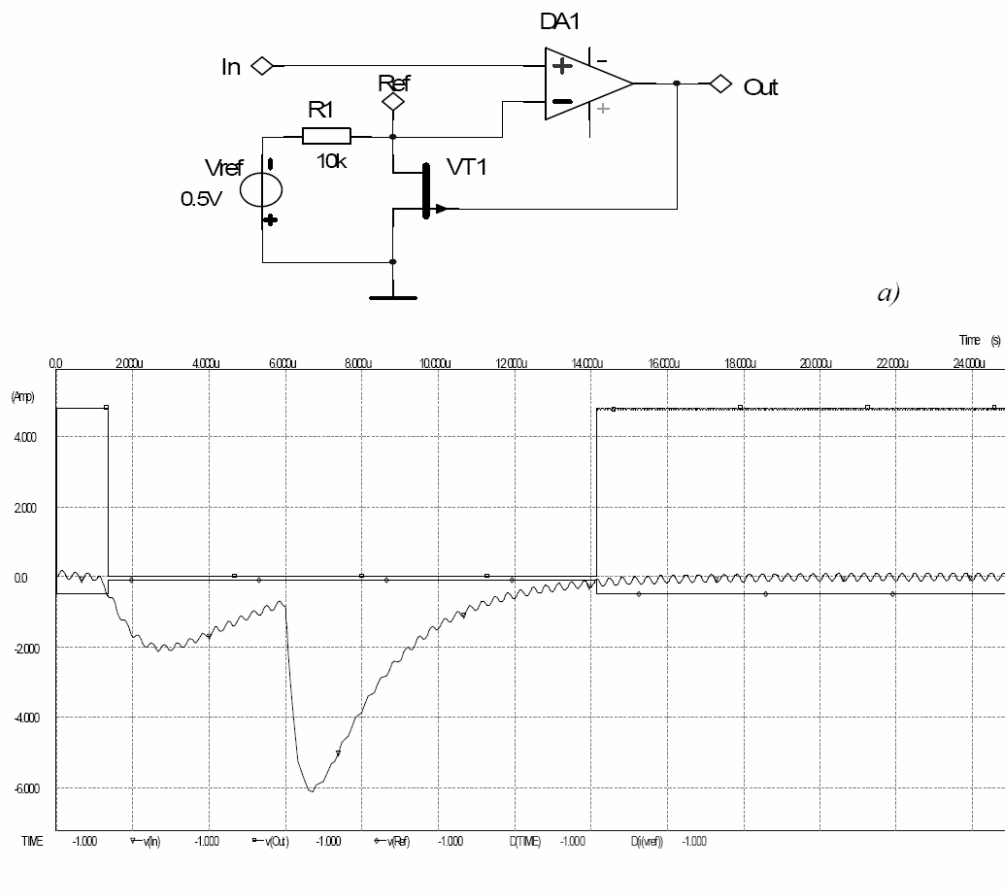
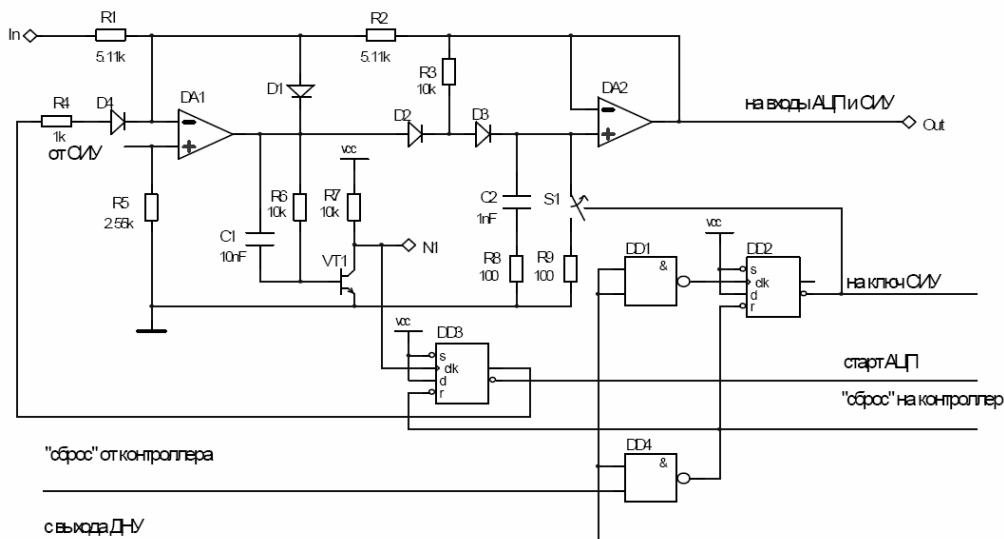


Рисунок 3 Упрощенная схема ДНУ – а) и временные диаграммы его работы – б)

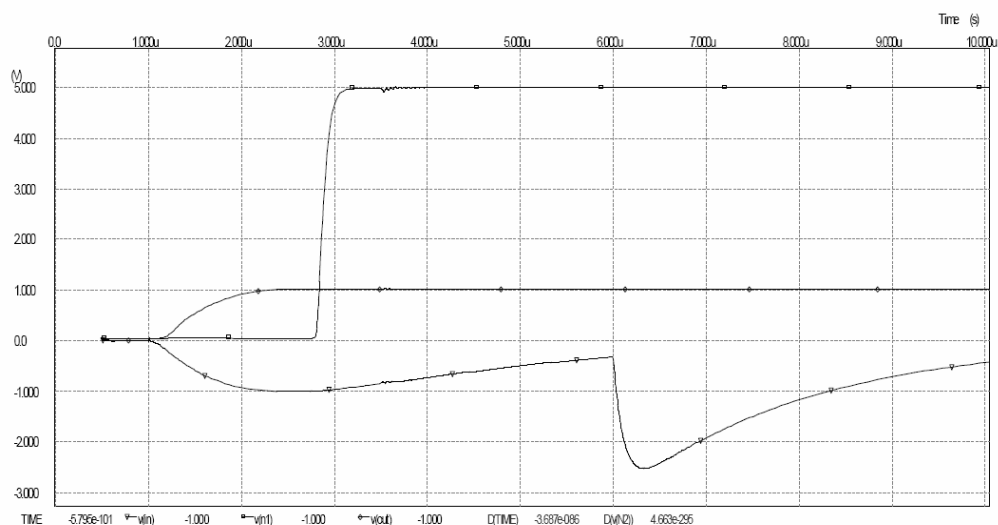
Входной сигнал ($v(\text{In})$) на рис. 3б) представлен в виде двух наложенных импульсов и шума, условно показанного синусоидальным.

ДНУ работает следующим образом: при срабатывании компаратора DA1 его выходной сигнал $v(\text{Out})$ переходит из высокого в низкий логический уровень, который подается на затвор полевого транзистора VT1 и открывает его канал. При этом транзистор шунтирует регулируемый источник опорного напряжения Vref (см. $v(\text{Ref})$ на рис. 3б). Опорное напряжение в контрольной точке Ref выставляется таким образом, чтобы дискриминировать шумы блока детектирования и, при необходимости, низкоэнергетические сигналы излучения. Такое схемотехническое решение позволяет получить гистерезис, необходимый для нормальной работы компаратора, и реализовать режекцию наложенных импульсов, механизм которой будет рассмотрен ниже.

Схема пикового детектора и его временные диаграммы показаны на рис. 4. Он представляет собой устройство с многопетлевой обратной связью.



а)



б)

Рисунок 4 - Схема пикового детектора – а) и его временные диаграммы – б)

В исходном состоянии электронный ключ S1 замкнут, и пиковый детектор работает как инвертор напряжения с коэффициентом передачи:

$$K_1 = -R2 / R1 \quad (1)$$

Выходной сигнал ДНУ подается через инвертор DD1 на тактовый вход clk триггера DD2. Сигнал с инверсного выхода этого

триггера размыкает электронные ключи в СИУ и S1 в пиковом детекторе. С этого момента ПД переходит в режим записи, а затем в режим хранения. В промежутках времени между входными импульсами, а так же в режиме записи, первый операционный усилитель DA1 генерирует напряжение достаточное для открывания двух последовательно включенных диодов D2 и D3. Падение напряжения на двух открытых р-п переходах этих диодов обеспечивает надежное открывание транзистора VT1, а резистор R4 ограничивает ток базы открытого транзистора. В момент перехода из режима записи в режим хранения пикового детектора, DA1 меняет полярность выходного сигнала, при этом открывается диод D1, который предотвращает глубокое насыщение DA1, и ограничивает обратное напряжение перехода база-эмиттер транзистора VT1, защищая его от пробоя. Падение напряжения на открытом диоде D1 способствует быстрому запирающему транзистора VT1 и, как следствие, формированию фронта сигнала, сигнализирующего о моменте перехода пикового детектора из режима записи в режим хранения (сигнал $v(n1)$ в контрольной точке N1 на рис. 4). Этот сигнал подается на тактовый вход clk триггера DD3. С инверсного выхода этого триггера снимается сигнал «старт», запускающий АЦП, а с прямого выхода подается сигнал в суммирующую точку DA1 через цепочку R4, D4. При этом, диод D4 устраняет влияние низкого логического уровня на выходной сигнал ПД. Номинал резистора R4 выбирается из условия $K1 < K2$, где $K1$ – коэффициент передачи рассчитанный по (1), а $K2$ рассчитывается по выражению:

$$K_2 = -R2 / R4 \quad (2)$$

Таким образом, наложенные импульсы (даже большей амплитуды, чем у предшествующего зарегистрированного импульса) не изменяют выходное напряжение ПД на момент обработки первого импульса. Этим достигается эффект режекции наложенных импульсов (см. сигналы $v(in)$ и $v(out)$ на рис. 4б).

Резистор R3 обеспечивает эквипотенциальность выводов диода D3 и, следовательно, устраняет ток утечки накопительной емкости C2 через этот диод в режиме хранения.

На момент оцифровки входной информации АЦП генерирует сигнал «занят», который анализируется контроллером и по его окончанию снимаются данные с АЦП. После чего контроллер

формирует сигнал «сброс», подаваемый на первый вход элемента 2И-НЕ (DD4), а на его второй вход подается выходной сигнал ДНУ. При отсутствии входного импульса на выходе DD4 генерируется сигнал низкого логического уровня, который сбрасывает триггеры DD2 и DD3, а контроллер, приняв этот же сигнал, снимает сигнал «сброс» и все устройство возвращается в исходное состояние.

Стабилизатор исходного уровня представляет собой инвертирующий активный интегратор на операционном усилителе с электронным ключом на входе. Входным сигналом СИУ является выход пикового детектора, а выход его интегратора подключен к неинвертирующему входу ПД. Таким образом, СИУ создает обратную отрицательную связь для пикового детектора, обеспечивая стабилизацию исходного уровня и подавление высокочастотной составляющей шума входного сигнала. Как отмечалось выше, на время обработки спектрометрического импульса входной ключ СИУ разомкнут, по этому СИУ не вносит ошибку в выходной сигнал ПД.

Выводы

Предложенный аналоговый процессор обеспечивает все минимально необходимые для спектрометра ионизирующих излучений функции. А именно:

хранение максимального значения спектрометрического импульса на время оцифровки;

дискриминацию шумов блока детектирования;

режекцию наложенных импульсов;

стабилизацию исходного уровня.

Проведено моделирование работы основных узлов с помощью программного симулятора Spice.

Простота схемотехнических решений позволяет реализовать на аналоговом процессоре спектрометр с малыми массогабаритными параметрами и малым энергопотреблением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kandiah K., Stirling A., Trotman D.L. e.a. // Proceeding of International Symposium on Nuclear Electronics. Paris, 1968. P. 691 – 69 – 15.
2. Ю.К. Акимов. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю.К. Акимов, О.В. Игнатъев, А.И. Калинин, В.Ф. Кушнирук. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344с. – ISBN 5-283-02944-1.

Получено 27.04.2010г.

УДК 58.31.33; 59.45.39

А.В. Калюжный

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ШУМОВ НА ПОЛЕЗНЫЙ СИГНАЛ ДЕТЕКТОРА СКРЫТЫХ ПУСТОТ “РОСЬ – 4М”

Анотація. Представлені результати по дослідженню впливу конструкційних шумів на корисний сигнал детектору прихованих порожнеч “РОСЬ – 4М”. Дослідження проводились методом комп’ютерного моделювання взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною за допомогою пакету програм GEANT 4.

Введение

Необходимость обнаружения, контроля и анализа скрытых пустот и вложений была и остается актуальной задачей для специалистов различных направлений деятельности и для государства в целом.

Профессиональным строителям, занимающимся контролем бетонных сооружений, резкой, сверлением, установкой навесных конструкций, применяются приборы для поиска скрытых в конструкционных материалах пустот для проверки рабочих зон и обнаружения скрытых элементов (арматуры, кабеля, металлических и пластиковых труб), которые могут привести к поломке оборудования или представлять угрозу для оператора или для самого сооружения в ходе проведения этих работ.

Геологическая разведка применяется для получения информацию о состоянии и составе исследуемых районов. Средства геологической разведки позволяют проводить поиск скрытых в грунте пустот и аномалий (трубопроводы, погреба, катакомбы и т.п.), а также полостей заполненных различными материалами (грунт, антропогенный и техногенный мусор и пр.).

Еще одна глобальная проблема человечества – проблема минной опасности. Две мировые войны, большое количество локальных конфликтов и региональных войн сделали свой вклад. По разным источникам, в настоящее время, в мире остаются не обезвреженными не менее 300 миллионов мин и других

© Калюжный А.В., 2010

взрывоопасных предметов различных типов, по-прежнему представляющих смертельную опасность, как для гражданского населения, так и для специалистов, занимающихся поиском и их обезвреживанием.

Для поиска таких предметов применяют приборы, основанные на различных физических принципах. С технической точки зрения сложнее всего мину обнаружить. Ведь после того как взрывное устройство найдено, обезвредить его, как правило, нетрудно, несмотря на разнообразие типов и изощренность механизмов срабатывания современных минных устройств.

Еще одной актуальной задачей для любого государства является его безопасность и безопасность его граждан. Наиболее опасные формы угрозы для современного государства связаны с наркобизнесом, незаконной торговлей оружием, вывозом за пределы страны предметов культурного и исторического достояния народов Украины, а также контрабанда различного рода радиоактивных материалов, представляющих серьезную опасность для человека. Практика борьбы с контрабандой показывает, что значительное количество предметов, перемещаемых через границу, осуществляется в транспортных средствах (легковые и грузовые автомобили, морские и речные суда, самолеты).

Цель исследования – оценка вклада шумов конструкционных элементов на полезный сигнал детектора скрытых пустот.

Задачи исследований:

Исследование влияния шумов от защиты источника ионизирующего излучения на полезный сигнал детектора скрытых пустот;

Исследование влияния шумов от корпуса на полезный сигнал детектора скрытых пустот;

Исследование влияния шумов от защиты детектора на полезный сигнал детектора скрытых пустот.

Объектом исследований является процесс взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.

Предметом исследований является детектор скрытых пустот, основанный на эффекте обратного рассеяния γ -излучения.

Методы исследований. Работа основывается на методах компьютерного моделирования процессов взаимодействия

ионизирующего излучения с веществом в среде моделирования GEANT 4.

Детектор скрытых пустот “РОСЬ – 4М”

Детектор скрытых пустот “РОСЬ – 4М” предназначен для обследования скрытых полостей транспортных средств (автомобилей, самолетов, кораблей, лодок, железнодорожных вагонов, контейнеров и т.д.) с целью выявления несанкционированных закладок (оружия, валюты, взрывчатки, наркотических веществ и т.д.) [1].

Принцип работы прибора заключается в использовании эффекта обратного рассеяния γ -излучения. Излучение от источника ионизирующего излучения проникает через преграду внутрь исследуемого объекта и рассеивается. Часть обратно рассеянного излучения регистрируется детектором. Интенсивность регистрируемого излучения зависит от наличия рассеивающего объекта и его свойств. По изменению интенсивности зарегистрированного обратно рассеянного излучения, можно судить об изменении плотности объекта. Изменение плотности в местах, где она должна быть неизменной, говорит о наличии в контролируемой зоне постороннего объекта [2].

Источники возникновения шума, влияющие на полезный сигнал детектора скрытых пустот

На рисунке 1 представлена упрощенная принципиальная схема детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения.

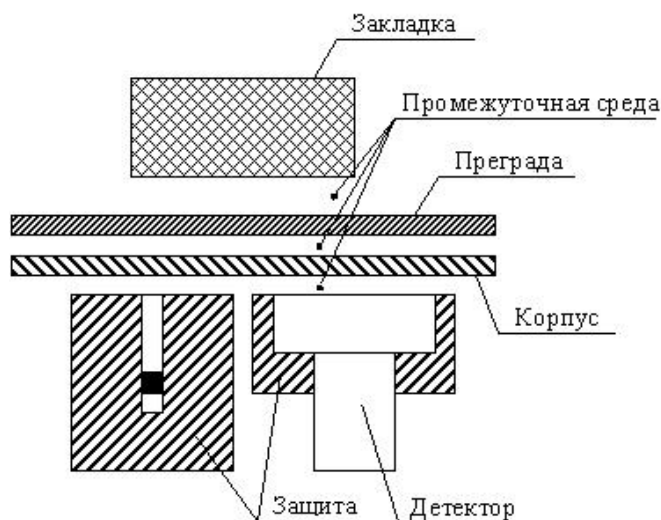


Рисунок 1 – Упрощенная принципиальная схема детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения

Под полезным сигналом здесь будем понимать сигнал, отразившийся от закладки и попавший, с последующей регистрацией, в детектор, без промежуточных взаимодействий. Реальный сигнал будет представлять из себя сумму сигналов, а именно:

- природный радиационный фон;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом защиты источника ионизирующего излучения;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом защиты детектора;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом корпуса прибора;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом преграды;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с окружающей средой;
- сигнал от взаимодействия γ -излучения с материалом закладки;

Реализация программно-имитационной модели детектора скрытых пустот.

Математическая модель детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения разрабатывалась при помощи пакета программ GEANT4.

GEANT4 — это система библиотек для компьютерного моделирования процессов прохождения элементарных частиц через вещество, на основе совокупности подходов, вместе называемых «метод Монте-Карло».

Структурная схема программной модели GEANT4 представлена на рисунке 2.

Программная модель для имитации взаимодействия частиц и излучения с веществом основана на использовании методов Монте-Карло. Основные функции и данные были описаны, используя библиотеки пакета GEANT4, на язык C++, компиляция, отладка и использование проводились в ОС Linux.

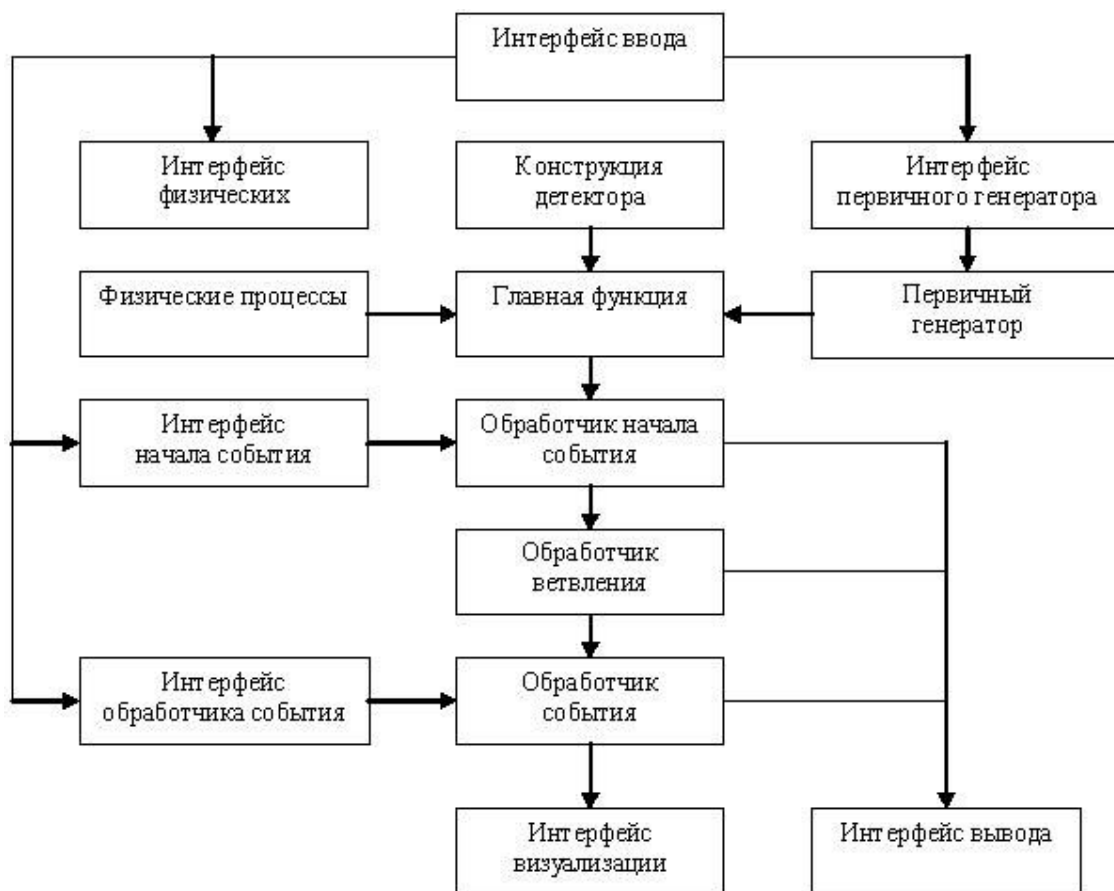


Рисунок 2 – Структурная схема программной модели GEANT4

Программная модель обеспечивает:

- изменение состава и физических свойств элементов конструкции прибора (положения и ориентации коллиматора, конструкции экрана и проч.), закладки (химического состава, размеров и ориентации в пространстве) и преград;
- изменение конструкции детектирующей аппаратуры, ее положения и ориентации в пространстве;
- изменение характеристик источника ионизирующего излучения (положение в коллиматоре, энергетический спектр изотопа).

На выходе программной модели получены следующие данные:

- регистрируемая скорость счета;
- энергетический спектр регистрируемого излучения.

Методика проведения экспериментов и результаты исследований

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рисунке 3.

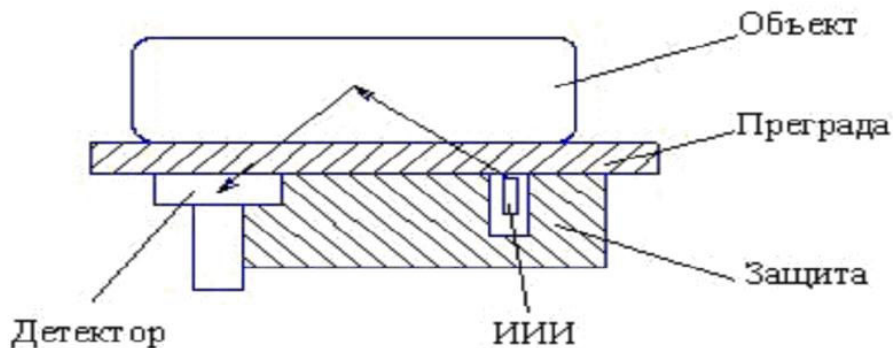


Рисунок 3 – Схема проведения экспериментов

В качестве источника ионизирующего излучения использовался Ba^{133} типа Gba3.044 активностью 1.0 МБк, коллиматор – цилиндр, радиус канала 3мм, толщина стенок 25мм, заглубление 3 мм. Детектор – сборка ФЭУ 9112В фирмы Electron Tubes и сцинтиллятора CsI(Tl) $\Pi 40 \times 5$ мм, защита кристалла – свинец 5мм.

В ходе серии экспериментов использовалась закладка из платины в виде цилиндра $\Pi 5 \times 8$ см. В качестве преграды использовался стальная пластина толщиной 1 мм и пластина из пластика толщиной 2 мм.

При обработке полученных результатов было принято решение перейти от накопленного спектра γ -излучения к нормированному спектру. Т.е. при классическом спектре γ -излучений на графике есть шкала энергии E и шкала количества событий данной энергии N , а при переходе от статистического к нормированному спектру, шкала N заменяется шкалой вероятности события данной энергии P . В принципе спектр γ -излучения и нормированный спектр по форме повторяют друг друга, что очень удобно при статистически обеспеченном спектре, который получается при прогоне моделирующей программы. Переход от статистического к нормированному спектру происходит, если каждое значение статистически обеспеченного спектра γ -излучения поделить на взвешенную сумму данного спектра. Данный подход позволяет сэкономить время при расчете эксперимента при данной геометрии,

если выходной спектр γ -излучения в итоге статистически не обеспечен.

Были проведены эксперименты для всех комбинаций параметров: окружающей среды (вакуум, воздух), материала защиты детектора (свинец и без защиты) и материала корпуса прибора (сталь, пластик и бескорпусное исполнение).

Далее следует определить влияние корпуса прибора из различных материалов, окружающей среды, защиты источника ионизирующего излучения и детектора, и оценить, как это повлияет на сам прибор и его эффективность. Было предложено использовать так называемый коэффициент эффективности прибора.

$$K_{\text{эп}} = \frac{K_{\text{среды}}}{K_{\text{вакуума}}};$$

Данный коэффициент рассчитывается как отношение коэффициента нормируемого сигнала, при данной конфигурации среды, преграды и защиты детектора, к коэффициенту нормируемого сигнала для вакуума.

При проведении экспериментов было принято решение о проведении первого из опытов в идеальной среде, где γ -квант претерпевал бы минимальное рассеивание от среды и как следствие потери энергии. Соответственно для опыта №1 коэффициент эффективности прибора будет равен 1.0:

$$K_{\text{вакуума}} = \frac{n}{N} = \frac{17770}{30863000} = 0.00057577,$$

где n – количество зарегистрированных γ -квантов, N – количество испущенных γ -квантов.

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Методика проведения эксперимента и полученные результаты

№ опыта	Окружающая среда	Материал защиты детектора	Материал корпуса прибора	Кол-во испущенных γ -квантов, N	Кол-во зарегистрированных γ -квантов, n	КЭП
1	Вакуум	Нет	Нет	30863000	17770	1
2	Воздух	Нет	Нет	26577000	14525	0,95
3	Воздух	Свинец	Нет	33816000	10800	0,56
4	Воздух	Свинец	Сталь	41149000	4253	0,18
5	Воздух	Нет	Сталь	29670000	9097	0,53
6	Воздух	Свинец	Пластик	30187000	7787	0,45

Заключение

В работе исследован вклад шума от конструкционных элементов детектора скрытых пустот, основанного на эффекте обратного рассеяния γ -излучения, на полезный сигнал. Исходя из полученных экспериментальных данных можно утверждать, что воздушная среда незначительно влияет на полезный сигнал. Для исключения “засветки” детектора необходимо его поместить в защиту. Лучшее всего для этого подходит свинец, однако это снижает эффективность прибора до 0,56. Также прибор должен иметь корпус. Экспериментальные данные показывают, что при использовании в качестве материала корпуса прибора стали коэффициент эффективности прибора $KЭП=0,53$, однако нужна защита детектора, как сказано выше. Опыт № 4 показывает, что при использовании защиты детектора и корпуса прибора из стали $KЭП$ составляет 0,18. Отсюда можно сделать вывод, что необходимо менять материал корпуса прибора или материал защиты детектора. Опыт № 6 показывает, что использование более прозрачного для γ -излучения материала, такого как пластик, позволяет повысить коэффициент эффективности прибора до 0,45. Этого вполне достаточно для нормальной работы прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детектор скрытых пустот “Рось 4М” [Электронный ресурс]. – Режим доступа к странице : <http://www.iskra.lg.ua/index.php?lang=ru&page=sci-tech-prod/ros4m>
2. Калюжный А.В. Исследование методов контроля скрытых пустот различными способами / Калюжный А.В. - Адаптивные системы автоматического управления. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 10(30). – Днепропетровск, 2007. – с. 54 – 62.

Получено 27.04.2010г.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

И.А. Павлюченков, Р.В. Волошин, Е.В. Сало, Т.Н. Овчаренко
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПЛАВЛЕНИЯ
ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА
ГРАНИЦЕ ШЛАК – МЕТАЛЛ**

Анотація. Метою запропонованої (наведеної) статті є розробка алгоритмів двовимірних задач розрахунку (на основі методу Дюзимбера) кінетики плавлення кускових матеріалів в розплаві циліндричної форми при несиметричних граничних умовах. В роботі приведено математичне моделювання кінетики плавлення тугоплавких матеріалів (температура плавлення матеріалу вище температури тверднення розплаву і нижче температури розплаву) на міжфазній границі шлак-метал.

Введение. Ввод кусковых материалов различного химического и гранулометрического состава в жидкую сталь в сталеразливочном ковше в процессе выпуска либо гомогенизирующей продувки расплава является эффективной ресурсосберегающей технологией внепечного раскисления, рафинирования, микролегирования и доводки по химическому составу стали. Задачи исследования тепломассообменных процессов при плавлении добавок на границе шлак-металл в сталеразливочном ковше при внепечной обработке металла актуальны для металлургической практики.

Постановка задачи. Для решения задач теплопроводности с подвижными границами раздела фаз применяются, как правило, численные методы. Наиболее универсальным методом расчета является метод конечных разностей. Это эффективна схема, основанная на учете скрытой теплоты плавления по методу Дюзимбера [1]. Метод был применен в одномерной постановке при решении задачи плавления чушкового алюминия при раскислении и доводке стали в сталеразливочном ковше [2], а также для исследования кинетики плавления алюминиевой и порошковой проволоки при вводе в жидкую сталь [3, 4]. Данный метод был применен также при решении двухмерной задачи плавления алюминиевого стержня (продольное обтекание цилиндра) с защитным

покрытием [5]. Целью статьи является разработка алгоритмов двухмерных задач расчета (на основе метода Дюзимбера) кинетики плавления кусковых материалов в расплаве цилиндрической формы при несимметричных граничных условиях.

Алгоритм. Рассмотрим процесс плавления цилиндра из тугоплавкого материала, который расположен на границе шлак-металл. Принимаем, что температуры жидкого металла t_m и жидкого шлака $t_{ш}$ постоянны и выше температуры $t_{пл}$ плавления цилиндра. Принимаем также, что перед всплытием на границу шлак-металл вся поверхность цилиндра не имеет намерзших оболочек шлака и металла.

Распределение температур в цилиндре описывается двумерным уравнением теплопроводности:

$$C(T)\rho(T)\frac{\partial T(r, \vartheta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda(T)r \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial \vartheta} \right], \quad (1)$$

$$0 < r < R_0, \quad 0 < \vartheta < \pi$$

где T – температура, °С; r, ϑ – текущие значения радиуса и угла соответственно; $\rho(T), C(T), \lambda(T)$ – плотность, теплоемкость, теплопроводность материала цилиндра. Граничные условия. На оси симметрии поперечного сечения цилиндра тепловой поток равен 0, то есть:

$$\frac{\partial t(0, z, \tau)}{\partial r} = 0. \quad (2)$$

На верхней боковой поверхности цилиндра ($0 < \vartheta < 90$) происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с заданным коэффициентом $\alpha_{ш}$ теплоотдачи. На нижней боковой поверхности цилиндра ($90 < \vartheta < \pi$) происходит конвективный теплообмен с жидким расплавом с заданным коэффициентом теплоотдачи α_m . Между намерзшими оболочками металла, шлака и поверхностью цилиндра существует идеальный тепловой контакт, т.е. заданы граничные условия IV рода.

Распределение температур в затвердевшей оболочке металла имеет вид:

$$C_m(T)\rho_m(T)\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda_m(T)r \frac{\partial T_m}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\lambda_m(T) \frac{\partial T_m}{\partial \vartheta} \right], \quad (3)$$

$$r > R_0, \quad (90^\circ < \vartheta < \pi)$$

Пусть точка P_m принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки металла. При этом условие движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_m \left(T_m(r, \vartheta, \tau) - t_{nl}^m \right) - \lambda_m \frac{\partial T_m(P_m)}{\partial \bar{n}} = -\rho_m Q_m W(P_m); T(P_m) = t_{nl}^m; \quad (4)$$

Распределение температур в затвердевшей оболочке шлака описывается аналогичным уравнением теплопроводности:

$$C_w(T) \rho_w(T) \frac{\partial T_w}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda_w(T) r \frac{\partial T_w}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\lambda_w(T) \frac{\partial T_w}{\partial \vartheta} \right], \quad (5)$$

$$r > R_0, \quad (0^\circ < \vartheta < 90^\circ)$$

Пусть точка P_w принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки шлака. При этом условие движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_w \left(T_w(r, \vartheta, \tau) - t_{nl}^w \right) - \lambda_w \frac{\partial T_w(P_w)}{\partial \bar{n}} = -\rho_w Q_w W(P_w); T(P_w) = t_{nl}^w; \quad (6)$$

После завершения периодов намерзания и последующего плавления металлической или шлаковой оболочек происходит подогрев поверхности цилиндра до температуры его плавления $t_{пл}$. На нижней поверхности цилиндра ($90^\circ < \vartheta < \pi$) происходит конвективный теплообмен с жидким металлом с заданным коэффициентом теплоотдачи α_m :

$$\alpha_m \left[t_m - T(R_0, \vartheta, \tau) \right] = -\lambda \frac{\partial T(R_0, \vartheta, \tau)}{\partial \bar{n}}, \quad (90^\circ < \vartheta < \pi) \quad (7)$$

На верхней поверхности цилиндра ($0^\circ < \vartheta < 90^\circ$) происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с заданным коэффициентом теплоотдачи α_w :

$$\alpha_w \left[t_w - T(R_0, \vartheta, \tau) \right] = -\lambda \frac{\partial T(R_0, \vartheta, \tau)}{\partial \bar{n}}, \quad (0^\circ < \vartheta < 90^\circ) \quad (8)$$

В качестве начального условия выбирается распределение температур в цилиндре в момент всплытия его на поверхность шлак-металл.

В качестве расчетной области выбрана половина поперечного сечения цилиндра, для решения задачи формируем квадратную координатную сетку. Для этого разобьем рассматриваемую половину сечения вертикальными и горизонтальными линиями как это показано на (рис. 1), получили контрольные объемы с координатами i, j . Значения температур будем определять в центре контрольных объемов. Задаем M_0 – начальное количество узлов по радиусу. В предполагаемом алгоритме расчета используется явная разностная схема.

Вводятся матрицы температур $t_{i,j}^n$ и $t_{i,j}^{n+1}$ для (n) и $(n+1)$ временных слоев.

Для учета условия симметрии задаем дополнительный столбец температур $t_{1,j}^n$. Равенство 0 тепловых потоков на оси симметрии учитывается посредством присвоения на каждом временном слое значений температур соответствующих столбцов: $t_{1,j}^n = t_{2,j}^n$. В результате такого подхода все контрольные объемы расчетной области являются внутренними, что существенно упрощает составление программы расчета.

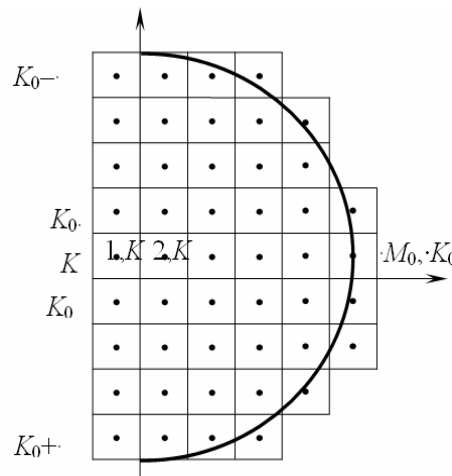


Рисунок 1 – Расчетная область к задаче плавления цилиндра, который расположен на границе шлак-металл

Вводятся матрицы теплофизических параметров плотности $\rho_{i,j}^n$, теплопроводности $\lambda_{i,j}^n$ и теплоемкости $c_{i,j}^n$, куда заносятся на каждом временном слое соответствующие значения параметров материала цилиндра и затвердевшего металла в зависимости от температуры.

В данной задаче используется только одно обобщенное уравнение для расчета температур на “n+1” временном слое. Оно имеет следующий вид:

$$t_{i,j}^{n+1} = t_{i,j}^n + r_z (t_{i-1,j}^n - t_{i,j}^n) - r_v (t_{i,j}^n - t_{i+1,j}^n) + r_s (t_{i,j-1}^n - t_{i,j}^n) - r_j (t_{i,j}^n - t_{i,j+1}^n) \quad (9)$$

Значение коэффициента r_z (z – ”запад”) определяется по формуле:

$$r_z = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i-1,j}^n} \right)}. \quad (10)$$

Значение коэффициента r_v (v – ”восток”) определяется в зависимости от значения температуры в контрольном объеме с номером $t_{i+1,j}^n$:

$$r_v = \frac{\alpha \cdot \Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad t_{i+1,j}^n = t_{\text{ж}} \quad (11)$$

$$r_v = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i+1,j}^n} \right)}, \quad t_{i+1,j}^n \neq t_{\text{ж}} \quad (12)$$

Значение коэффициента r_s (s – ”север”) определяется в зависимости от значения температуры в контрольном объеме с номером $t_{i,j-1}^n$:

$$r_s = \frac{\alpha \cdot \Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad t_{i,j-1}^n = t_{\text{ж}} \quad (13)$$

$$r_s = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j-1}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} \right)}, \quad t_{i,j-1}^n \neq t_{\text{ж}} \quad (14)$$

Значение r_j (j – ”юг”) определяется в зависимости от температуры в контрольном объеме с номером $t_{i,j+1}^n$:

$$r_j = \frac{\alpha \cdot \Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad t_{i,j+1}^n = t_{\text{ж}} \quad (15)$$

$$r_j = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j+1}^n} \right)}, \quad t_{i,j+1}^n \neq t_{\text{ж}} \quad (16)$$

Если контрольный объем с нижней, верхней и правой сторон обтекаются расплавом, то g_v , g_s и g_j определяются по формулам (11), (13) и (15) соответственно.

Второе слагаемое в правой части уравнения (9) обозначает приток тепла посредством теплопроводности с левого соседнего контрольного объема с координатами $t_{i-1,j}^n$ в контрольный объем с координатами $t_{i,j}^n$.

Третье слагаемое обозначает поток тепла ушедшего с контрольного объема с координатами $t_{i,j}^n$ в правый соседний контрольный объем с координатами $t_{i+1,j}^n$. При этом возможен один из 2 способов переноса тепла:

- 1) теплопроводностью, если $t_{i+1,j}^n$ меньше температуры расплава, значение g_v при этом определяется по формуле (12);
- 2) конвективным теплообменом с расплавом, если $t_{i+1,j}^n$ равна температуре расплава, значение g_v при этом определяется по формуле (15).

Четвертое слагаемое в правой части уравнения (9) обозначает приток тепла с верхнего соседнего контрольного объема с координатами $t_{i,j-1}^n$ в контрольный объем с координатами $t_{i,j}^n$. При этом также возможен один из двух способов переноса тепла:

- 1) теплопроводностью, если $t_{i,j-1}^n$ меньше температуры расплава, значение g_v при этом определяется по формуле (14);
- 2) конвективным теплообменом с расплавом, если $t_{i,j-1}^n$ равна температуре расплава, значение g_v при этом определяется по формуле (13).

Пятое слагаемое обозначает поток тепла, ушедшего с контрольного объема с координатами $t_{i,j}^n$ в нижний соседний контрольный объем с координатами $t_{i,j+1}^n$. При этом возможен один из 2 способов переноса тепла:

1) теплопроводностью, если $t_{i,j+1}^n$ меньше температуры расплава, значение r_j при этом определяется по формуле (16);

2) конвективным теплообменом с расплавом, если $t_{i,j+1}^n$ равна температуре расплава, значение r_j при этом определяется по формуле (15).

Согласно метода Дюзимбера при намерзании и последующем плавлении оболочки металла и плавлении цилиндра температура поверхностного слоя принимает значение соответствующей температуры плавления (намерзания), т.е. расчет поля температур по формулам (9 – 16) производится с граничными условиями I рода.

Для расчета процесса намерзания и последующего плавления металлической оболочки вычисляется, согласно метода Дюзимбера, избыточная температура:

$$t_u = t_v + r_z(t_{i-1,j}^n - t_v) - r_v(t_v - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_v) - r_j(t_v - t_{i,j+1}^n), \quad (17)$$

где t_v - температура нулевой жидкотекучести (выливаемости) металла

Если значение избыточной температуры t_u меньше температуры нулевой жидкотекучести металла t_v , то на данном временном слое происходит процесс намерзания металла. При этом, разность между значением избыточной температуры и температурой нулевой жидкотекучести металла t_v суммируется в счетчиках. Для этих целей введена матрица $cd[i, j]$, в начале расчета ее элементы равны 0. Если через $k1$ шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, то температура расплава в соседнем контрольный объеме заменяется на температуру нулевой жидкотекучести металла.

Если значение избыточной температуры t_u больше температуры нулевой жидкотекучести металла t_v , то на данном временном слое происходит процесс расплавления намерзшего металла. При этом, разность между значением избыточной температуры и температуры нулевой жидкотекучести металла t_v суммируется в счетчиках. По истечении $k2$ шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, то температура $t_{i,j}^n$ в контрольный объеме заменяется на температуру расплава.

Аналогично, для расчета процесса намерзания и последующего плавления шлаковой оболочки вычисляется, согласно метода Дюзимбера, избыточная температура:

$$t_u = t_{nl}^u + r_z(t_{i-1,j}^n - t_{nl}^u) - r_v(t_{nl}^u - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_{nl}^u) - r_j(t_{nl}^u - t_{i,j+1}^n), \quad (18)$$

где t_{nl}^u - температура плавления шлака

Если значение избыточной температуры t_u меньше температуры плавления шлака t_{nl}^u , то на данном временном слое происходит процесс намерзания шлака. При этом, разность между значением избыточной температуры и температуры плавления шлака t_{nl}^u суммируется в счетчиках. Если через $k3$ шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты плавления в шлаке к его теплоемкости, то температура расплава в соседнем контрольный объеме заменяется на температуру плавления шлака t_{nl}^u .

Если значение избыточной температуры t_u больше температуры плавления шлака t_{nl}^u , то на данном временном слое происходит процесс расплавления намерзшего шлака. При этом, разность между значением избыточной температуры и температуры плавления шлака t_{nl}^u суммируется в счетчиках. По истечении $k4$ шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты плавления шлака к его теплоемкости, то температура $t_{i,j}^n$ в контрольный объеме заменяется на температуру шлакового расплава. Расчет по формулам (9–18) осуществляется для контрольных объемов, температура которых ниже температуры плавления цилиндра. После расчета процесса подогрева цилиндра на данном временном слое производится расчет плавления контрольных объемов в цилиндре, которые прогрелись до температуры плавления. Для каждого контрольного объема, имеющего температуру плавления цилиндра $t_{пл}$, вычисляется избыточная температура:

$$t_u = t_{nl} + r_z(t_{i-1,j}^n - t_{nl}) - r_v(t_{nl} - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_{nl}) - r_j(t_{nl} - t_{i,j+1}^n), \quad (19)$$

При этом, разность между значением избыточной температуры и температурой плавления цилиндра суммируется в счетчиках. По истечении $k5$ шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в цилиндре к его

теплоемкости, то температура $t_{i,j}''$ в контрольный объем заменяется на температуру шлакового или металлического расплава. Расчет по данному алгоритму заканчивается при условии, что все контрольные объемы расплавились. Для расчетов использовались общие физические данные для добавки (материал добавки ФТи 30.), расплава и шлака, расчет коэффициента теплоотдачи в шлаковом расплаве [7].

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диаметр цилиндра, мм	5	25	50
Длительность плавления на границе шлак-металл, сек	5	51	145
Длительность плавления в металлическом расплаве, сек	4	46	140

Выводы. Адекватность предложенного алгоритма расчета подтверждается сравнением результатов вычислительного эксперимента с ранее опубликованными экспериментальными и расчетными результатами одномерных задач плавления для различных материалов. Результаты вычислительного эксперимента позволяют установить рациональные режимы ввода кусковых добавок из различных материалов, обеспечивающие наиболее благоприятные условия для их расплавления в сталеразливочном ковше или ковше-печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлюченков И.А. Численное моделирование (на основе метода Дюзимбера) процессов плавления тел в расплаве // Математичне моделювання.-1997.-№2 С. 37 - 43.
2. Моделирование процесса плавления чушкового алюминия при раскислении и доводке стали в ковше/ В.А. Вихлевщук, К.Г Носов., В.Ф Поляков.[и др.]/Изв. вузов.Черная металлургия.-1988-№9-С.31-34.
3. Исследование процесса плавления алюминиевой проволоки при вводе в сталь. В.А. Вихлевщук, И.А. Павлюченков, В.Г.Щербинский [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия.-1988.-№2.-С.32-38.
4. Исследование кинетики плавления порошковой проволоки при вводе в жидкую сталь / И.А. Павлюченков, В.А. Вихлевщук, В.И. Тимошпольский.[и др.] // Изв. вузов.Энергетика.-1992.-№9-10.-С.87-91.
5. Бабенко М.В Алгоритм расчета (на основе метода Дюзимбера) двухмерной задачи плавления цилиндра в расплаве / М.В Бабенко, И.А. Павлюченков // Металургійна теплотехніка: Зб. наук. праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: ПП Грек О.С., 2006.С. 3-7.
6. Изучение свойств ферросплавов и лигатур для микролегирования и раскисления стали / В.С.Игнатьев, В.А.Вихлевщук, В.М.Черногрицкий, [и др.] //Изв. вузов. Черная металлургия.-1988.-№6.-С.37-42.
7. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. -М: Металлургия, 1976.-552с.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

И.А. Павлюченков, Е.В. Сало, В.П. Пиптюк,

Г.А. Андриевский, И.А. Ковальчук

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА
ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ ШЛАК-МЕТАЛЛ СФЕРЫ
ИЗ ТУГОПЛАВКОГО МАТЕРИАЛА**

Анотація. У статті розглянуто тепломасообмінний процес при плавленні добавок на межі шлак-метал у сталерозливному ковші при позапічній обробці металу. Враховано випадок, коли розглянута добавка частково занурена у розплав сталі, а частково знаходиться у розплаві шлаку. Розроблено алгоритм розрахунку двовимірної задачі плавлення тугоплавких матеріалів сферичної форми на основі різницевого метода Дюзимбера.

Введение. Ввод кусковых материалов в расплав при выпуске либо продувке стали не всегда сопровождается их прогнозированным плавлением под слоем расплава и равномерным распределением в объеме ковша. Поэтому задачи исследования тепломассообменных процессов при плавлении и усвоении добавок на границе шлак-металл в сталеразливочном ковше при внепечной обработке металла актуальны для металлургической практики. В работе учтен случай, когда рассматриваемая добавка частично погружена в расплав стали, а частично находится в расплаве шлака. Авторами работы разработан алгоритм расчета двухмерной задачи плавления тугоплавких материалов сферической формы на основе разностного метода Дюзимбера [1,2].

Постановка задачи. Рассмотрим процесс плавления кусковой добавки сферической формы из тугоплавкого материала на границе шлак-металл. Принимаем, что температуры жидкого металла $t_{ж}$ и жидкого шлака $t_{ш}$ выше температуры $t_{пл}$ плавления сферы. На верхней поверхности сферы, находящейся в расплаве шлака ($0 < \vartheta < \vartheta_0$), происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с заданным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{ш}$. На остальной поверхности сферы ($\vartheta_0 < \vartheta < \pi$) происходит конвективный теплообмен с жидким металлом с заданным коэффициентом

© Павлюченков И.А., Сало Е.В., Пиптюк В.П., Андриевский Г.А.,
Ковальчук И.А., 2010

теплоотдачи α_m . Между намерзшими оболочками металла, шлака и поверхностью сферы существует идеальный тепловой контакт, т.е. заданы граничные условия IV рода.

Математическая модель. Распределение температур в сфере описывается двумерным уравнением теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T(r, \vartheta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{\lambda}{r \sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\frac{1}{r} \sin \vartheta \frac{\partial T}{\partial \vartheta} \right], \quad (1)$$

$$0 < r < R_0, \quad 0 < \vartheta < \pi$$

где c теплоемкость, плотность ρ и теплопроводность λ материала сферы не зависят от температуры.

Распределение температур в затвердевшей оболочке металла имеет вид:

$$C_m \rho_m \frac{\partial T_m(r, \vartheta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_m}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial T_m}{\partial r} \right] + \frac{\lambda_m}{r \sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\frac{1}{r} \sin \vartheta \frac{\partial T_m}{\partial \vartheta} \right], \quad (2)$$

$$r > R_0, \quad (90^\circ < \vartheta < 180^\circ)$$

Пусть точка R_m принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки металла. При этом условие движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_m (t_m(r, \vartheta, \tau) - t_{nl}^m) - \lambda \frac{\partial t_m(P_m)}{\partial \bar{n}} = -\rho_m Q_m W(P_m); \quad (3)$$

Распределение температур в затвердевшей оболочке шлака имеет вид:

$$C_w \rho_w \frac{\partial T_w(r, \vartheta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_w}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial T_w}{\partial r} \right] + \frac{\lambda_w}{r \sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\frac{1}{r} \sin \vartheta \frac{\partial T_w}{\partial \vartheta} \right], \quad (4)$$

$$r > R_0, \quad (0^\circ < \vartheta < 90^\circ)$$

Пусть точка R_w принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки шлака. При этом условие движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_w (t_w(r, \vartheta, \tau) - t_{nl}^w) - \lambda \frac{\partial t_w(P_w)}{\partial \bar{n}} = -\rho_w Q_w W(P_w); \quad t_w(P_w) = t_{nl}^w \quad (5)$$

В качестве начального условия выбирается распределение температур в сфере в момент всплытия ее на поверхность металл-шлак.

Алгоритм расчета. При выводе уравнений баланса тепла используется метод контрольного объема. Для решения задачи

формируем координатную сетку. Для этого разобьем половину сферы на контрольные объемы с координатами i, j . Значения температур будем определять в центре контрольных объемов. Задаем M_0 – заданное количество узлов по радиусу сферы, N_0 – заданное количество секторов по углу θ сферы. В предлагаемом алгоритме расчета используется явная разностная схема. Вводятся матрицы температур $t_{i,j}^n$ для (n) и $t_{i,j}^{n+1}$ для $(n+1)$ временных слоев, а также матрицы теплофизических параметров плотности $\rho_{i,j}$, теплопроводности $\lambda_{i,j}$ и теплоемкости $c_{i,j}$, куда заносятся на каждом временном слое соответствующие значения параметров материала сферы, затвердевшего металла и затвердевшего шлака. Шаг по радиусу (ординате i) определяется в виде $\Delta r = R_0 / (M_0 - 1/2)$, шаг по углу θ (по ординате j) определяется в виде $\Delta \theta = \pi / N_0$.

Вывод уравнений баланса тепла для внутренних контрольных объемов. Вершины сферического сектора указанного на рис.1 имеют координаты:

$A(R, \varphi, \theta), B(R, \varphi, \theta + d\theta), C(R + dR, \varphi, \theta + d\theta), D(R + dR, \varphi, \theta), A_1(R, \varphi + d\varphi, \theta),$

$B_1(R, \varphi + d\varphi, \theta + d\theta), C_1(R + dR, \varphi + d\varphi, \theta + d\theta), D_1(R + dR, \varphi + d\varphi, \theta)$

Для вывода уравнений баланса тепла необходимо вычислить значения площадей граней участвующих в теплообмене и объем сферического сектора (контрольного объема) с координатами i, j .

Площадь грани ABA_1B_1

$$\begin{aligned} S_{ABA_1B_1} &= A \cdot A_1 \cdot AB = \left[\left(R - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin \theta \cdot \Delta \phi \right] \cdot \left(R_0 - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \Delta \theta = \\ &= \left[\left(i \cdot \Delta r - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin \theta \cdot \Delta \phi \right] \left(i \cdot \Delta r - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \Delta \theta = \left[\Delta r \left(i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 \cdot \sin \theta \cdot \Delta \theta \cdot \Delta \phi \end{aligned}$$

Площадь грани DC_1CD_1

$$\begin{aligned} S_{DC_1CD_1} &= DC \cdot DD_1 = \left[\left(R + \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin \theta \cdot \Delta \phi \right] \cdot \left(R + \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \Delta \theta = \\ &= \left[\left(i \cdot \Delta r - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin \theta \cdot \Delta \phi \right] \left(i \cdot \Delta r + \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \Delta \theta = \left[\Delta r \left(i + \frac{1}{2} \right) \right]^2 \cdot \sin \theta \cdot \Delta \theta \cdot \Delta \phi \end{aligned}$$

Площадь грани AA₁DD₁

$$S_{AA_1DD_1} = AA_1 \cdot D_1D = \left[\left(R - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin \theta \cdot \Delta \phi \right] \cdot \Delta r =$$

$$= \left[\left(i \cdot \Delta r - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin \theta \cdot \Delta \phi \right] \cdot \Delta r = \left(i - \frac{1}{2} \right) \cdot \Delta r^2 \cdot \sin \theta \cdot \Delta \phi$$

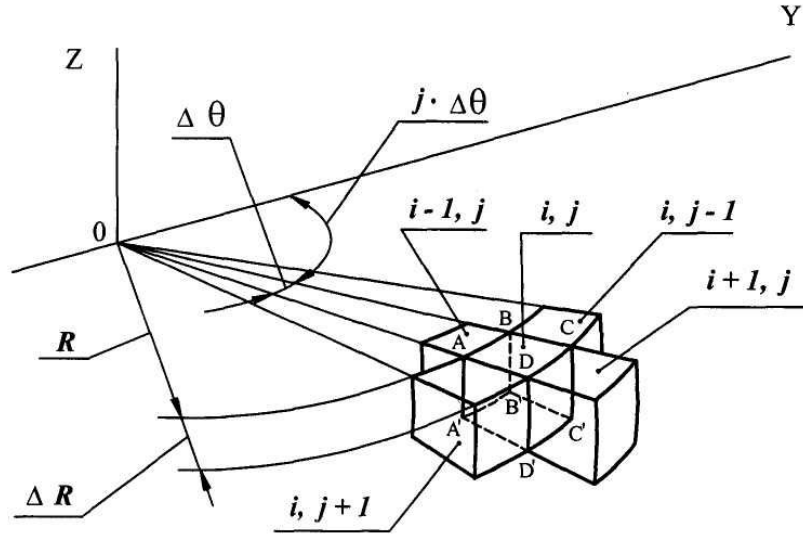


Рисунок 1 - Схема внутренних контрольных объемов сферы $1 < i < M_0$, $1 < j < N_0$

Площадь грани BB₁CC₁

$$S_{BB_1CC_1} = BB_1 \cdot BC = \left[\left(R - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin(\theta \cdot \Delta \theta) \cdot \Delta \phi \right] \cdot \Delta r =$$

$$= \left[\left(i \cdot \Delta r - \frac{\Delta r}{2} \right) \cdot \sin(\theta \cdot \Delta \theta) \cdot \Delta \phi \right] \cdot \Delta r = \left(i - \frac{1}{2} \right) \cdot \Delta r^2 \cdot \sin(\theta \cdot \Delta \theta) \cdot \Delta \phi$$

Объем сферического сектора

$$\Delta V = S_{ABA_1B_1} \cdot \Delta r = \left[\Delta r \left(i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 \cdot \Delta r \cdot \sin \theta \cdot \Delta \theta \cdot \Delta \phi$$

Уравнение баланса тепла для внутренних контрольных объемов.

$$\Delta v \cdot \rho_{i,j} \cdot c_{i,j} \frac{t_{i,j}^{n+1} - t_{i,j}^n}{\Delta \tau} = S_{ABA_1B_1} \cdot \frac{2\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i-1,j}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i-1,j}} \cdot \frac{t_{i-1,j}^n - t_{i,j}^n}{\Delta r} -$$

$$- S_{DCC_1D_1} \frac{2\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i+1,j}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i+1,j}} \cdot \frac{t_{i,j}^n - t_{i+1,j}^n}{\Delta r} + S_{AA_1DD_1} \cdot \frac{2\lambda_{i,j-1} \cdot \lambda_{i,j}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i,j-1}} \cdot \frac{t_{i,j-1}^n - t_{i,j}^n}{\Delta \theta} -$$

$$-S_{BB_1CC_1} \frac{2\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i,j+1}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i,j+1}} \cdot \frac{t_{i,j}^n - t_{i,j+1}^n}{i \cdot \Delta r \cdot \Delta \theta} \quad (6)$$

Подставляя значения площадей и объема получим расчетные формулы для неизвестных температур $t_{i,j}^{n+1}$

$$t_{i,j}^{n+1} = t_{i,j}^n + \frac{2 \cdot \Delta \tau}{\rho_{i,j} \cdot c_{i,j}} \left[\frac{\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i-1,j}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i-1,j}} \cdot \frac{t_{i-1,j}^n - t_{i,j}^n}{\Delta r^2} - \left(i + \frac{1}{2} \right)^2 \cdot \frac{\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i+1,j}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i+1,j}} \cdot \frac{t_{i,j}^n - t_{i+1,j}^n}{\Delta r^2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{i - \frac{1}{2}} \cdot \frac{\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i,j-1}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i,j-1}} \cdot \frac{t_{i,j-1}^n - t_{i,j}^n}{\Delta r^2 \cdot \Delta \theta^2} - \frac{\sin(\theta \cdot \Delta \theta)}{\left(i - \frac{1}{2} \right) \cdot \sin \theta} \cdot \frac{\lambda_{i,j} \cdot \lambda_{i,j+1}}{\lambda_{i,j} + \lambda_{i,j+1}} \cdot \frac{t_{i,j}^n - t_{i,j+1}^n}{\Delta r^2 \cdot \Delta \theta^2} \right] \quad (7)$$

Аналогичные уравнения выводятся для остальных контрольных объемов расчетной области.

Намерзание и последующее плавление металлической и шлаковой оболочек, плавление сферы. При намерзании и последующем плавлении оболочки металла, шлака и плавлении сферы температура поверхностного слоя принимает значение соответствующей температуры намерзания (плавления). В поверхностном контрольном объеме с координатами $M[j], j$ может происходить процесс намерзания, плавления шлакового или металлического расплавов, а также плавления сферы. Для этого определяется избыточная температура $t_u(j)$ для каждого поверхностного контрольного объема.

Расчетные формулы для избыточных температур $t_u(j)$ для $1 \leq j \leq N_0$ при намерзании и плавлении металлического расплава имеют вид:

$$t_u[j] = t_{nl}^M + \frac{2 \cdot \Delta \tau}{\rho_{M[j],j} \cdot C_{M[j],j}} \left[\frac{\lambda_{M[j]-1,j} \cdot \lambda_{M[j],j}}{\lambda_{M[j]-1,j} + \lambda_{M[j],j}} \cdot \frac{t_{M[j],j}^n - t_{nl}^M}{\Delta r^2} - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{M[j]} \right)^2 \cdot \alpha_M \cdot \frac{t_{nl}^M - t_{жс}}{\Delta r} + \right. \\ \left. + \frac{1}{M[j]} \cdot \frac{\lambda_{M[j],j} \cdot \lambda_{M[j],j-1}}{\lambda_{M[j],j} + \lambda_{M[j],j-1}} \cdot \frac{t_{M[j],j-1}^n - t_{nl}^M}{[M[j] \cdot \Delta r \cdot \Delta \theta]^2} - \frac{1}{M[j]} \cdot \frac{\lambda_{M[j],j} \cdot \lambda_{M[j],j+1}}{\lambda_{M[j],j} + \lambda_{M[j],j+1}} \cdot \frac{t_{nl}^M - t_{M[j],j+1}^n}{[M[j] \cdot \Delta r \cdot \Delta \theta]^2} \right] \quad (8)$$

Если значение избыточной температуры $t_u(j)$ меньше температуры плавления металла t_{nl}^M , то в соседнем поверхностном контрольном объеме с координатами $M[j], j+1$ происходит процесс

намерзания металла. При этом, на каждом расчетном временном слое разность между значением избыточной температурой и температурой плавления металла t_{nl}^M суммируется в счетчиках. Для этих целей введен массив $cd[j]$, в начале расчета его элементы равны 0. Если через $k1$ шагов по времени значение $cd[j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, то температура металлического расплава в соседнем поверхностном контрольном объеме $t_{M[j],j+1}^n$ заменяется на температуру плавления металла t_{nl}^M .

Если значение избыточной температуры $t_u(j)$ больше температуры плавления металла t_{nl}^M , то данный поверхностный контрольный объем с координатами $M[j],j$ расплавляется. При этом, на каждом расчетном временном слое разность между значением избыточной температуры и температуры плавления металла t_{nl}^M также суммируется в счетчиках. По истечении $k2$ шагов по времени значение $cd[j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, то температура $t_{M[j],j}^n$ в данном контрольном объеме заменяется на температуру металлического расплава $t_{жс}$. Аналогично производится расчет процесса намерзания и последующего плавления шлаковой оболочки.

После расплавления металлической или шлаковой оболочки производится расчет подогрева поверхности сферы в данном контрольном объеме. В дальнейшем производится расчет плавления сферы. Расчет по данному алгоритму заканчивается при условии, что все контрольные объемы, омываемые металлом, расплавились.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлюченков И.А. Численное моделирование (на основе метода Дюзимбера) процессов плавления тел в расплаве // Математичне моделювання. – № 2, 1997. – С. 37 - 43.
2. Бабенко М.В., Павлюченков И.А. Алгоритм расчета (на основе метода Дюзимбера) двухмерной задачи плавления цилиндра в расплаве. Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. - Дніпропетровськ: «ПП Грек О.С.», 2006. с. 3-7.

Получено 29.04.2010г.

УДК 528.71

В.В. Гнатушенко, Вікт.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва
**СІНЕРГЕТИЧНА ОБРОБКА РАДІОЛОКАЦІЙНИХ І ОПТИЧНИХ
ДАНИХ**

Анотація. Проаналізовано можливості синергетичної обробки радіолокаційних і оптичних даних. Наведено алгоритм інтерферометричної обробки пари радіолокаційних зображень із метою одержання ЦМР, що використовується для подальшого злиття радіолокаційних і оптичних зображень.

Ключові слова: радіолокаційне зображення, злиття даних, геометрична корекція.

Постановка проблеми

Однією з тенденцій останнього десятиліття в зондуванні Землі з космосу став комплексний підхід до обробки даних: спільне використання даних різних інструментів, у тому числі, оптичних і радіолокаційних [1]. Оскільки кожний з названих методів спостереження Землі має як переваги, так і обмеження в застосуванні, які мають різну природу, об'єднання даних являє собою безперечний виграш у порівнянні з роздільною обробкою за рахунок розширення об'єму одержуваної інформації завдяки як взаємодоповнюваності, так і взаємозамінності. Зображення в оптичному діапазоні містять інформацію про відбиту або перевідбиту енергії сонячного світла й інформацію про хімічний склад поверхневого шару, у той час як зображення, отримані в мікрохвильовому діапазоні, надають дані про геометричні та фізичні параметри поверхні. Для якісного сполучення таких даних необхідно залучати додаткову інформацію про орбітальні й інші геометричні параметри. В областях пересіченого рельєфу необхідно залучати також цифрові карти висот.

Аналіз останніх досліджень

У цей час існує цілий ряд космічних сенсорів високого розрізнення, на основі даних яких можна будувати досить деталізовані цифрові моделі рельєфу (ЦМР). Застосування тривимірних моделей міського середовища диктується особливістю геометрії зображень, одержуваних при похилих трасах зондування

радіолокаційними станціями бічного огляду. При такому зондуванні на радіолокаційних зображеннях (РЛЗ) верхні точки будинків зміщуються стосовно нижніх у бік проекції орбіти супутника на земну поверхню (на РЛЗ спостерігається, так зване, «перекидання» будинків (рис. 1)). Наявність тривимірних моделей дозволяє спотворені радіолокаційні зображення перевести в ортофотоплани, що значно підвищить точність інтерпретації результатів. З іншого боку, застосування РЛЗ дозволяє перейти від статичних тривимірних моделей до динамічних, що враховують періодичні коливання висоти земної поверхні. У свою чергу, такі динамічні моделі відкривають можливість для кількісного прогнозування деформацій будинків і споруджень на основі методів математичного моделювання [2, 3].

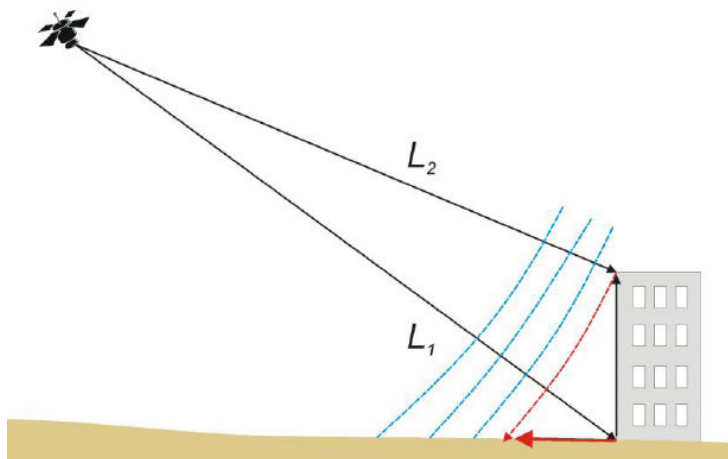


Рисунок 1 - Схема зондування радіолокаційної зйомки, що пояснює ефект «перекидання» будинків

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ціль роботи полягає в аналітичному огляді можливостей сінергетичної обробки радіолокаційних і оптичних даних та розробці алгоритму інтерферометричної обробки пари радіолокаційних зображень із метою одержання ЦМР, що використовується для подальшого злиття радіолокаційних і оптичних зображень.

Основна частина

Радіолокаційна зйомка Землі проводиться вже досить тривалий час. Її основні переваги — можливість одержання інформації незалежно від хмарності й освітленості та оперативність. Крім того, РЛЗ дозволяють визначати вертикальні зсуви з високою точністю (аж до декількох міліметрів), що є альтернативою дорогим і

працезатратним наземним вимірам. Останнім часом спостерігається сплеск інтересу до даного виду зйомок. Це пояснюється в першу чергу появою радіолокаційних знімків із суттєво більш високими споживчими властивостями. Серед них у першу чергу слід зазначити підвищення просторового розрізнення, комбінацію різних поляризацій сигналу і, що дуже важливо, можливість одержання інтерферометричних пар. Дешифрування радарних знімків має принципові відмінності від дешифрування знімків, отриманих в оптичному діапазоні. Вони обумовлені рядом специфічних особливостей, властивих радарній зйомці:

- зображення отримане в діапазоні електромагнітних хвиль, відбивна здатність яких принципово відрізняється від відбивної здатності оптичного діапазону;
- специфічна проекція зображень, тому що вихідна система координат це: похила дальність – азимут;
- великий кут нахилу зйомки (у випадку, наприклад, Terrasar-X від 20 до 60 градусів) ;
- наявність спекл-шуму;
- відсутність тіней у звичному розумінні та наявність радіолокаційної тіні.

Але придатними до використання РЛЗ стають тільки після їхнього переведення в картографічну проекцію, що виконується за допомогою точної геометричної моделі, опорних точок (GCP) і цифрової моделі місцевості. При цьому серйозну проблему представляє збір опорних точок. Сама процедура збору точок дуже дорога, зокрема для важкодоступних районів. Іноді це просто неможливо в силу конкретних обставин, наприклад, повеней або розливу нафти. По-друге, на РЛЗ, на відміну від знімків з оптичних супутників, дуже важко розпізнати опорні точки, а в районах з гористим рельєфом це стає ще складніше через ефект короткозорості (foreshortening) і накладення (layover). Саме через труднощі, пов'язані зі збором опорних точок, раніше було неможливе автоматично створювати високоточні радіолокаційні ортознімки.

Розглянемо деякі властивості РЛЗ на прикладі радіолокатора із синтезованою апертурою PALSAR, розташованого на супутнику ALOS. Оскільки в ALOS застосовуються новітні технології точного визначення координат і просторового положення супутника, те цю

інформацію можна використовувати для точного ортотрансформування знімків PALSAR у будь-яку картографічну проекцію GCP. Радіолокатор PALSAR є радіолокатором L-діапазону (довжина зондувальної хвилі – 23 см). Дані ALOS PALSAR придатні для побудови рельєфу та моніторингу зсувів інтерферометричним методом, для моніторингових завдань лісового й сільського господарства і т.д. L-діапазон дозволяє довше зберігати когерентність, і, до деякої міри, компенсувати її падіння, викликане впливом рослинності. Режим зйомки PLR (повна поляризація випромінювання) дозволяє додатково підвищити когерентність і оптимізувати інтерферограму за рахунок зйомки з повною поляризаційною матрицею. У свою чергу, дані ALOS PALSAR FBS (однополяризаційний режим зйомки) характеризуються високим просторовим розрізненням – 7 м.

Безпосередньо інтерферометрична обробка пари радіолокаційних зображень із метою одержання ЦМР у загальному випадку складається з декількох базових кроків:

1. Сполучення основного та допоміжного радіолокаційних зображень інтерферометричної пари (в автоматичному режимі або з ручним введенням контрольних точок).

2. Генерація інтерферограми, що є результатом комплексного поелементного перемножування основного зображення та зображення, комплексно сполученого з допоміжним.

3. Поділ компонентів фаз набігу за рахунок огляду топографії під двома різними кутами та набігу за рахунок зсуву поверхні в період між зйомками за рахунок синтезу фази рельєфу.

4. Фільтрація інтерферограми, що дозволяє деякою мірою зменшити фазовий шум за рахунок закруглення вихідної ЦМР.

5. Одержання файлу когерентності для області перекриття двох знімків, що становлять інтерферометричну пару, у значеннях від 0 до 1 для кожної пари відповідних один одному пікселів.

6. Розгорнення фази (процедура переходу від відносних значень фази до абсолютних).

7. Корекція базової лінії.

8. Перетворення абсолютних значень фази у відносні або абсолютні висотні оцінки в метрах, з одержанням на виході ЦМР.

Детальний огляд і підвищення ефективності кожного з наведених кроків є предметом окремої роботи.

З іншого боку, існує безліч аспектів, які необхідно прийняти в розгляд, перш ніж приступити до об'єднання радіолокаційного й оптичного зображень. Залежно від геометричних властивостей зображень, необхідно уточнити умови обробки, у їхньому числі:

- геометрична модель трансформації,
- контрольні точки (кількість, розподіл, точність),
- цифрова модель рельєфу,
- метод переоцифровки (передискретизації).

Методи злиття зображень відносять до синергетичних технологій, оскільки при спільному аналізі даних оптичних і радіолокаційних сенсорів (рис.2) отримана інформація є ні в якій мірі не надлишковою, а комплементарною. При злитті зображень часто доводиться залучати додаткові дані (топографічні карти, GCP-координати, геофізичну інформацію і т.д.). Основною метою спільної обробки даних радіолокаційного й оптичного походження є розширення кола завдань, розв'язуваних методами дистанційного зондування Землі, а також підвищення якості даних (наприклад, збільшення надійності, усунення або скорочення ступеня неоднозначності, оптимізація ступеня детальності, необхідної для класифікації, заповнення областей відсутності даних у випадку хмарності для оптичних зображень або областей тіні для радіолокаційних).

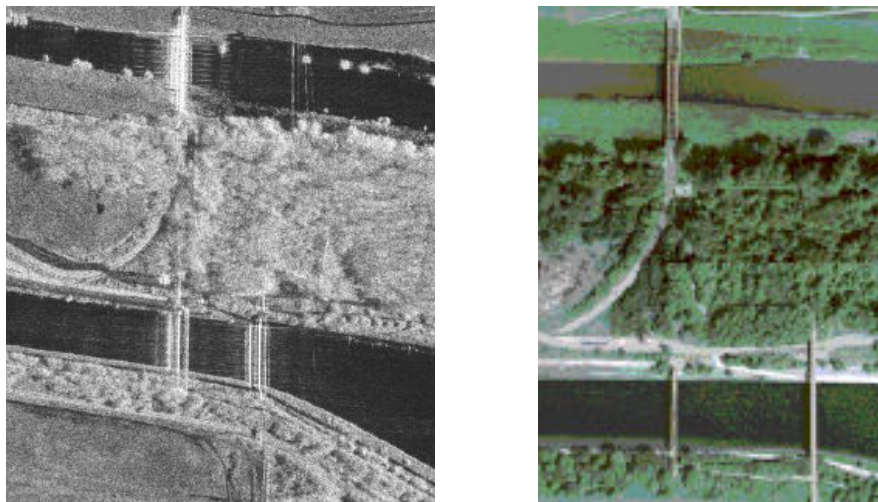


Рисунок 2 - Радіолокаційне (ліворуч) та оптичне (праворуч) зображення

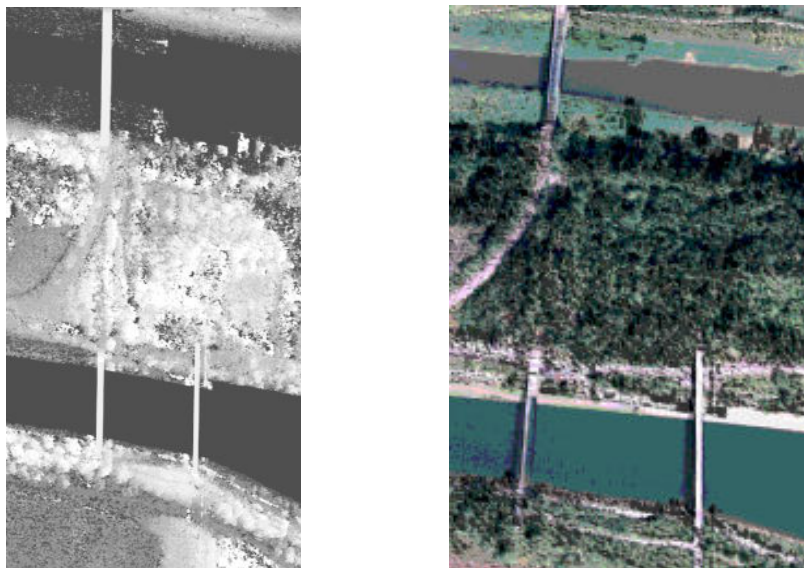


Рисунок 3 - Побудована ЦМР (ліворуч) та результат злиття (праворуч) зображень, поданих на рис.2

Висновки та перспективи подальших досліджень

Приклад виконаної нами сумісної обробки оптичних і радіолокаційних зображень (рис.2) подано на рис.3. Наші подальші дослідження будуть присвячені питанням злиття таких даних за допомогою перетворення $RGB \leftrightarrow HIS$.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Гнатушенко В.В. Злиття космічних даних різного просторового розрізнення / В.В. Гнатушенко, В.В. Гнатушенко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2 (31). – Дніпропетровськ, 2004. – С. 67–72.
- 2.Баранов Ю.Б. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR / Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, М.А. Болсуновский // Геоматика. – 2008. – №1. – С.37–45.
- 3.Никольский Д.Б. Уровни обработки радиолокационных данных / Д.Б. Никольский // Геоматика.- 2008.-№ 1.-С.25-36.
- 4.Lichtenegger J. Combining optical/infrared and SAR images for improved remote sensing interpretation / J.Lichtenegger // ESA Bulletin, 66, 1991. – P.119–121.

Отримано 30.04.2010р.

УДК 621.74.002.6

Н.В. Сусло, В.Т. Калинин

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО
НАНОМАТЕРИАЛАМИ ЧУГУНА**

Анотація. Розглянуті існуючі технології отримання чавунних куль, що мелють. Приведена установка для литва куль. Приведені результати комп'ютерного моделювання процесів кристалізації чавунних куль, що мелють.

В промышленно развитых странах доля производства чугунных мелющих шаров достигает 45% всего объема и продолжает быстро увеличиваться [1]. Обзор проспектов зарубежных фирм, выпускающих литые мелющие шары, показывает, что в зарубежной практике применяют, в основном, литые шары из высокохромистых, хромомолибденовых и хромоникелевых чугунов, которые, имея высокие эксплуатационные характеристики, отличаются высокой стоимостью.

В Украине для производства чугунных мелющих шаров применяются низкохромистые чугуны. Существенное повышение износостойкости мелющих шаров достигается при получении отбеленного слоя на их поверхности, который можно получить за счет быстрого охлаждения отливки. Кроме износостойкости, мелющие шары должны обладать хорошей ударной стойкостью.

После проведенного анализа существующих технологий производства чугунных мелющих шаров и способов повышения их износо- и ударной стойкости, установлено, что наибольшее применение получило литье шаров в кокиль из модифицированного чугуна.

Существует множество шаролитейных кокильных установок, которые отличаются конструкцией (рис.1), технологическими параметрами и технической характеристикой.

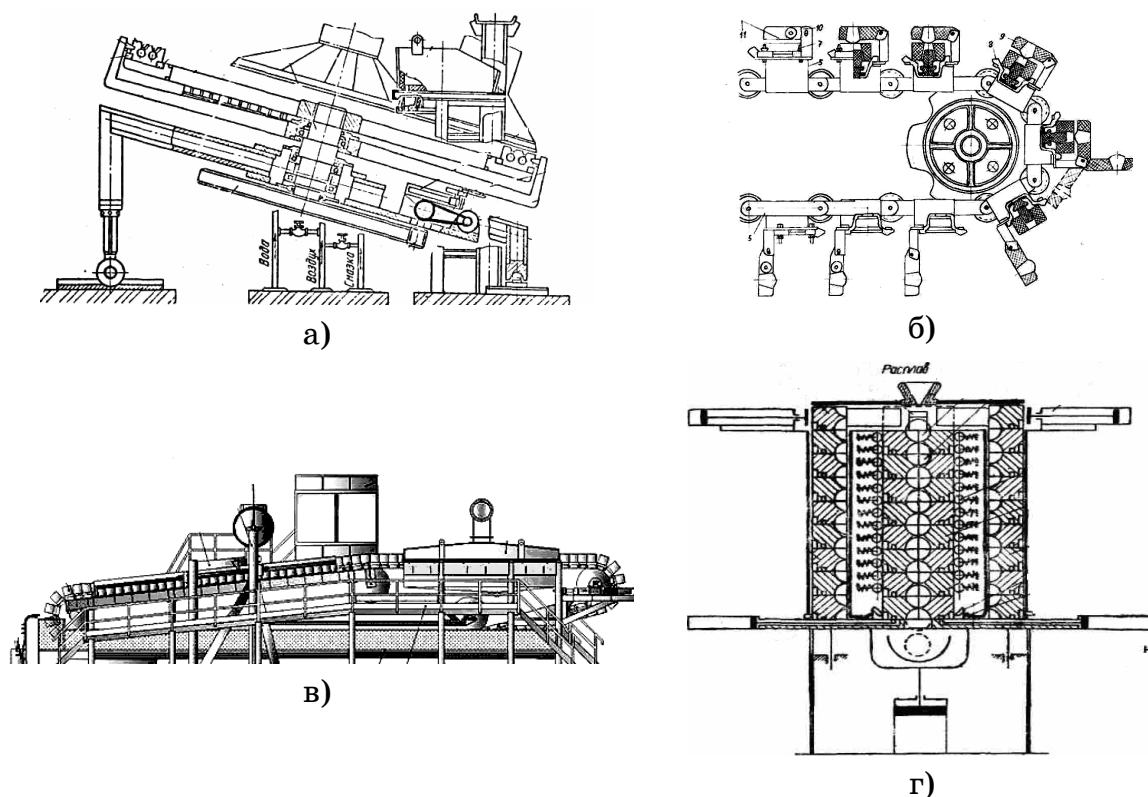


Рисунок 1 – Схемы шаролитейных кокильных установок: а – горизонтально замкнутая конвейерная шаролитейная; б – вертикально – стопочная; в – конвейерно – кокильная с горизонтальным разъемом кокилей; г - конвейерно – кокильная с вертикальным разъемом кокилей

Наибольшее применение нашла конвейерно–кокильная установка (ККУ – 1). Машина обладает высокими эксплуатационными характеристиками, отличается надежностью, удобством обслуживания, простотой смены кокилей и имеет низкое энергопотребление.

ККУ оборудована необходимыми узлами, обеспечивающими выполнение всех технологических операций:

- подготовка кокильной оснастки к заливке;
- заливка форм;
- охлаждение и извлечение готового литья из форм.

Технология, применяемая в ККУ - 1, как и в других установках имеет общий недостаток - существенный брак продукции за счет литейных дефектов (усадки), износа металлической оснастки, и неравномерности заполнения рабочих полостей форм. Во многом появление этих дефектов связано с технологическими факторами:

температурой заливки, скоростью заливки, скоростью охлаждения и др.

Проведено компьютерное моделирование процессов заливки и кристаллизации чугуна на ККУ, с целью выбора оптимальной температуры заливки расплава и выбора химического состава.

Моделирование проводилось с помощью программы LVMFlow.

Для того, чтобы создать максимально реальные условия моделирования учтены следующие параметры:

- сплав и его теплофизические свойства (теплопроводность, удельная теплоемкость, кинематическая вязкость, коэффициент теплопередачи);
- материал кокиля и его свойства (теплопроводность, удельная теплоемкость);
- параметры сетки;
- исходные температуры металла и кокиля;
- условия заливки (вид ковша, струя металла, гидростатический напор);
- расположение элементов литниковой системы.

Ниже приведены результаты, которые были получены при моделировании чугунных шаров, химические составы которых приведены в таблице 1.

Для моделирования были выбраны 3 состава шаров:

- состав 1 соответствует чугуно серийного производства для шаров, изготавливаемых в ЛКПЧ ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»;
- состав 2 получен в результате проведенных опытов по модифицированию чугуна серийного производства нанодисперсным модификатором на основе TiCN;
- состав 3 выбран в результате литературного анализа [2 - 5] как износостойкий для сравнительной характеристики.

Таблица 1

Химический состав моделируемых мелющих шаров

Чугун	Химический состав, %							Ti
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	
1 -соответствующий ТТ090-008:2008	3,2-3,6	0,3-0,5	0,8-1,5	До 0,1	До 0,12	0,3-0,6	0,4-1,2	-
2 - модифицированный TiCN	3,86	0,33	1,05	0,017	0,074	0,105	0,01	0,015
5 - ИЧХ28Н2	2.9	0.6	1	0.1	0.1	29	2.5	-

В производственных условиях применяют температуру заливки чугуна 13800С для повышения жидкотекучести. При этом высокая температура приводит к разгару кокилей. Поэтому проанализировано влияние температуры на усадочные дефекты в шарах с целью выбора оптимальной температуры заливки.

Анализ оптимальных температур заливки выполнялся для составов шаров № 1, 2 и 3 при температурах 12800С, 13200С, 13500С и 13800С. Результаты прогнозирования усадочных раковин приведены на рисунке 2.

Анализ результатов моделирования показал, что повышение температуры до 1380oС увеличивает объем усадочной раковины. Исходя из результатов, рекомендуется использовать температуру заливки в пределах 1280 – 13200С, а также установить на ККУ заливочное устройство с подогревом для поддержания рекомендуемой температуры.

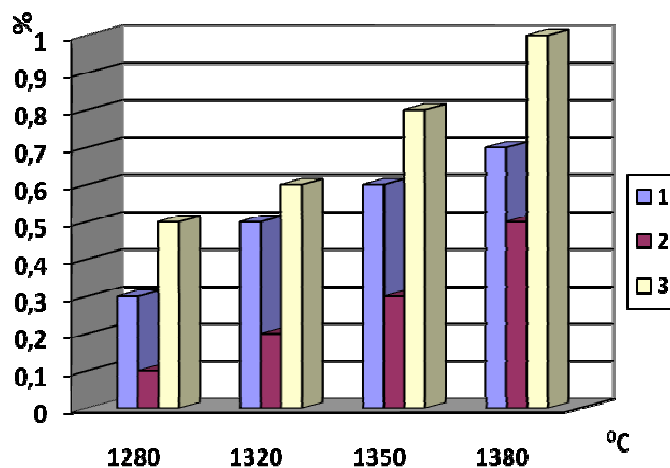


Рисунок 2 – Прогнозирование объема усадочных раковин: 1 – для состава шаров №1; 2 - для состава шаров №2; 3 - для состава шаров №3

Смоделирована также заливка и процесс кристаллизации шаров составов № 1, 2, 3 при одинаковых условиях с целью установления влияния химического состава на процесс образования усадочной раковины. Результаты приведены на рисунке 3.

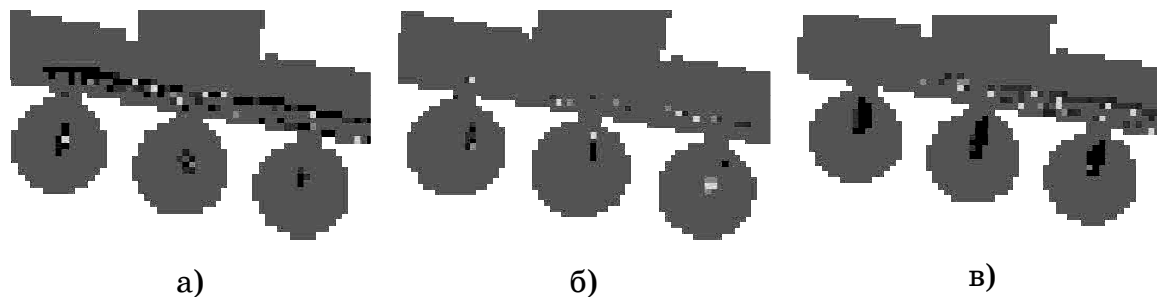


Рисунок 3 – Моделирование прогнозирования образования усадочной раковины в шарах в зависимости от химического состава:

- а – шары состава № 1 - усадка составила 0,5%
- б – шары состава № 2 - усадка составила 0,1%
- в – шары состава № 3 - усадка составила 0,11%

Как видно из результатов моделирования, наилучшие результаты показали шары отлитые из чугуна модифицированного карбонитридом титана в отличие от шаров действующего состава чугунов, изготавливаемых в ЛКПЧ ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и чугунов марки ИЧХ28Н2.

Выводы:

1 Разработана технология изготовления мелющих шаров из чугуна модифицированного нанодисперсным модификатором TiCN в количестве 0,1% от массы металла.

2 Проведено сравнительное компьютерное моделирование с целью прогнозирования образования усадочных дефектов в шарах в зависимости от температуры заливки и химического состава.

3 Результаты моделирования показали, что наименьшая вероятность образования усадочных дефектов наблюдается при снижении температуры заливки и применении модифицированного чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Дюков А.В., Кульбовский И.К., Александров Н.Н. и др. Производство чугунных мелющих шаров литьем в кокиль // Литейное производство. -1998.-№11.-С. 32-34.
- 2.Солнцев Л.А., Зайденберг А.М., Малый А.Ф. Получение чугунов повышенной прочности. - Харьков: Вища школа, 1986. - 152 с.
- 3.Рябов О.ф. Мелющие шары из легированного чугуна// Горн. Журнал. —1987. С. 17-18.
- 4.Александров Н.Н., Мильман Б.С., Капустина Л.С. Влияние модифицирования на процесс кристаллизации в чугуне // Литейное производство. - 1986. - № 10. - С. 2- 4.
- 5.Беседина Э.Б., Богданов А.И., Якунин И.А. и др. Мелющие тела, отливаемые на горизонтальной машине непрерывного литья // Литейное производство. - 1986. -№ 10. -С. 21-22.
- 6.Карпенко В.Ф., Белай Г.Е., Снаговский В.М. Влияние технологических режимов литья на качество шаров из белого чугуна // Сб. 4-й научно-технической конференции "Механизация и повышение эффективности технологических процессов". - Днепропетровск: ДМетИ. - 1986. - С. 80-81.

Получено 03.05.2010г.

УДК 621.746.39

Я.В. Сегеда, В.Т. Калинин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧЕГО СЛОЯ ОТЛИВОК ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Аннотация. Показаны особенности технологии применения тугоплавких нанодисперсных материалов для повышения износостойкости рабочего поверхностного слоя чугунных отливок. Сделаны замеры глубины пропитки образцов. Проведены анализ микроструктуры поверхностного композитного слоя и испытания на износостойкость.

Постановка и анализ проблемы

К поверхностным слоям изделий, как правило, предъявляются повышенные требования по износостойкости, твердости, термостойкости, устойчивости против коррозии, эрозии и пр., которые достигаются применением известных методов химико-термической обработки или электролитических покрытий. Однако этими методами не удастся получить толщину слоя с нужными свойствами более чем 0,3 мм, что явно недостаточно для крупных литых деталей типа лопастей гидротурбин, броневых плит углеразмольных мельниц, валков прокатных станов. Толщина поверхностного слоя со специальными свойствами в таких отливках должна быть не менее 8-10 мм. Такой слой с большими затратами труда и дорогих материалов получают обычно наваркой.

Более экономичным способом является поверхностное легирование, суть которого состоит в том, что отливка в процессе формирования соприкасается со средой (твердой, жидкой или газообразной), из которой получает (или в которую отдает) определенные элементы. В результате поверхностный слой изделия приобретает свойства, отличные от свойств остального объема отливки.

Наиболее перспективны методы легирования, когда на форму наносится слой обмазки, содержащей легирующие элементы или тугоплавкие соединения, которые в процессе формирования отливки насыщают ее поверхность, применяется также засыпка порошков на

дно подогретой формы в которую производят заливку металла. В результате на поверхности отливки образуется насыщенный твердыми частицами износостойкий композитный слой. Количество твердых частиц в получаемом износостойком слое находится в пределах 35-50% (объемных) и зависит от исходной пористости слоя порошка или обмазки [1].

В последние годы в связи с интенсивным развитием нанотехнологий появилась возможность применения в качестве модификаторов нанопорошков (НП) тугоплавких химических соединений, которые представляют собой сверхмелкозернистые кристаллические или аморфные образования с размерами, не превышающими 100 нм. Они обладают уникальными физико-химическими свойствами и механическими характеристиками, существенно отличающимися от свойств таких же материалов в массивном состоянии, и эти свойства могут в определенной степени передаваться получаемым из них или с их участием отливаемых изделий [2].

Цель работы

Разработка технологии применения оптимальных тугоплавких нанодисперсных соединений для повышения износостойкости рабочего поверхностного слоя чугунных отливок.

Изложение основного материала исследований

Для определения оптимального химического состава тугоплавких нанопорошков, обеспечивающих высокие свойства рабочему слою отливок были взяты для исследования следующие соединения, (% мас.):

1. карбонитрид титана (TiCN) – 100%;
2. карбид хрома (Cr_3C_2) – 100%;
3. смесь 50% карбонитрида титана (TiCN) и 50% карбида хрома (Cr_3C_2);
4. смесь 45% карбонитрида титана (TiCN), 45% карбида хрома (Cr_3C_2) и 10% карбида вольфрама (WC).

Составы связующих железоуглеродистых сплавов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав металла – связки

№ п/п	Вид чугуна	Содержание элементов, %						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
1	нелегированный	3,7	0,5	0,4	до 0,1	до 0,1	-	-
2	хромоникелевый (Cr- Ni)	3,6	0,6	0,5	до 0,1	до 0,1	0,5	1,5
3	хромоникелевый (Cr- Ni)	3,4	0,4	0,3	до 0,1	до 0,1	0,6	1,7
4	хромоникелевый (Cr- Ni)	3,6	1,5	0,4	до 0,1	до 0,1	0,5	1,5

Образцы отливали в песчано-глинистые формы, в дне которых имелись углубления для порошков нанодисперсных соединений (рис.1).

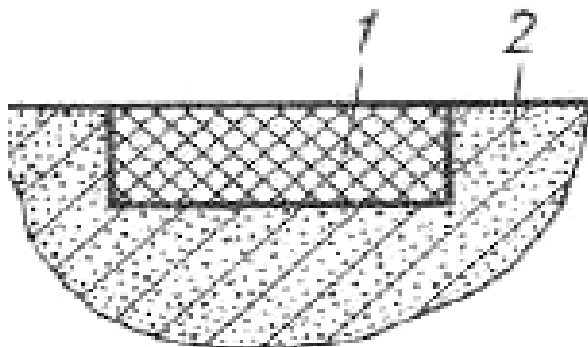


Рисунок 1 - Фрагмент литейной формы с углублением:

1 – углубление для нанопорошка, 2 – песчано-глинистая смесь

Перед заливкой формы сушили и подогревали до 100°С. Смеси нанопорошков приготавливали путем тщательного перемешивания компонентов, для достижения равномерного распределения частиц компонентов.

Заливку форм производили сверху, связующим сплавом одной плавки заливали одновременно 4 формы с различными составами упрочняющей смеси. Для возможности сравнения способности различных сплавов к пропитке заливку производили при одинаковом перегреве над температурой ликвидуса (~200 °С) [3].

О склонности сплава и нанопорошков к пропитке судили по глубине пропитанного слоя. Результаты замеров приведены в таблице 2.

Таблица 2

Глубина пропитки образцов

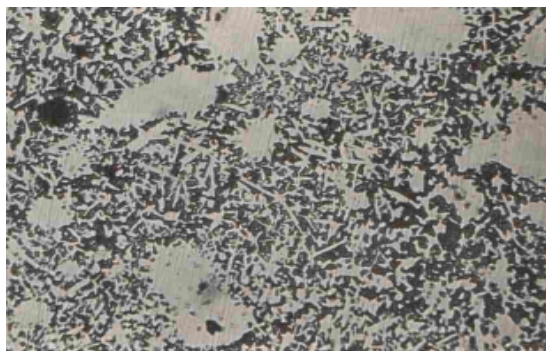
Номер сплава	Глубина пропитки, мм			
	TiCN, 100%	Cr ₃ C ₂ , 100%	50% - TiCN 50% - Cr ₃ C ₂	45% - TiCN 45% - Cr ₃ C ₂ 10% - WC
1	18-20	15-17	17-19	17-19
2	17-19	9-11	15-17	13-15
3	13-15	11-13	13-15	12-14
4	20-22	7-9	16-18	18-20

Данные таблицы 2 показывают, что из чистых нанопорошков лучше пропитывается карбонитрид титана. Глубина пропитки слоя нанопорошка карбида хрома несколько меньше. Добавка к нанопорошку карбида хрома карбонирида титана способствует увеличению глубины пропитки.

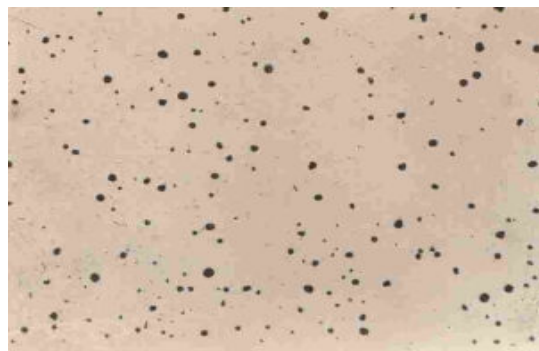
Установлено, что лучшая пропитка порошков достигается при использовании в качестве металла-связки нелегированного отбеленного (№ 1) и среднелегированного хромоникелевого (№ 4) чугуна.

Для исследования макро- и микроструктуры полученных сплавов из опытных проб были вырезаны поперечные темплеты толщиной 12 мм.

Осмотр изломов и фотографии микроструктуры показали, что проба насыщенная карбидами титана имеет более мелкозернистое строение, чем остальные образцы, структура композитного слоя, полученного пропиткой нанопорошка карбонитрида титана, имеет мелкое строение и состоит из карбидов титана и титано-карбидной эвтектики (рис.2,а). Форма и распределение силикатных включений, имеющих в композитном слое хорошо видна на нетравленных шлифах (рис.2,б).



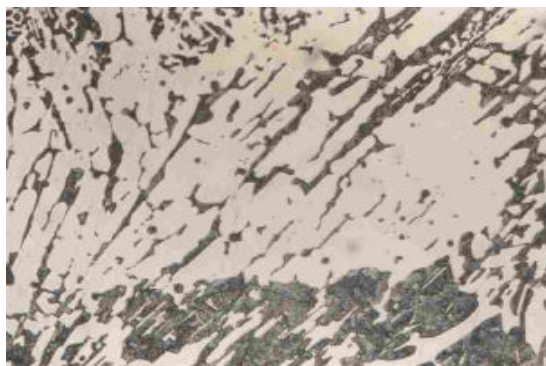
а)



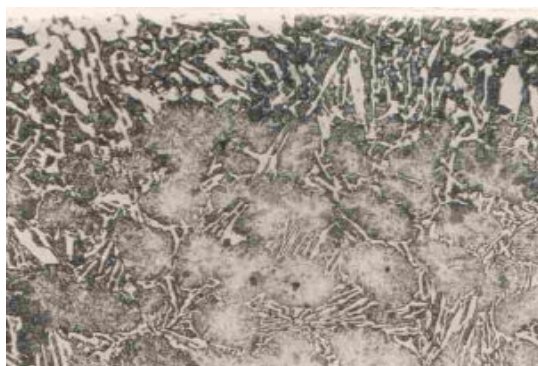
б)

Рисунок 2 - Микроструктура композитного слоя на основе карбонитрида титана (TiCN), x150

В переходной зоне структура состоит из крупных карбидов титана и перлита в количестве 30-35% (рис.3,а).



а)



б)

Рисунок 3 - Микроструктура переходной зоны (а) и металла-связки (б), x150

При удалении от композитного слоя количество карбидов уменьшается при увеличении количества перлита, который соответствует матричному чугуну (рис.3,б).

Все полученные сплавы испытывали на износостойкость. Образцы размером 10x10x12 мм подвергались трению скольжения при нагрузке 75 кг и количестве оборотов контртела 5000. В качестве контртела служили образцы диаметром 50 мм из стали марки ст. 3. Износостойкость сплавов оценивали по потере веса образца. Для сравнения был испытан образец из отбеленного чугуна, износостойкость которого приняли за 1. Результаты испытаний показали, что наиболее высокую износостойкость имеют сплавы, в которых упрочняющая фаза не растворяется в металле-связке. Так

коэффициент износостойкости хромоникелевого чугуна + Cr₃C₂ составляет 3,2 – 3,5; хромоникелевого чугуна + TiCN достигает 4,5-4,7.

Вывод

Технология применения нанопорошков в качестве упрочняющих веществ для получения износостойкого литого композитного слоя является перспективным направлением в литейном производстве, о чем свидетельствуют результаты испытаний. Износостойкость композитных сплавов на основе нанодисперсного карбонитрида титана и карбида хрома более чем в 3-4 раза выше износостойкости белого нелегированного чугуна. Полученные результаты по использованию нанопорошков позволяют сделать вывод о возможностях их использования для повышения механических свойств, уменьшения износа и улучшения качества металлоизделий, получаемых из чугуна методами литья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пропитка пористых тел металлическими расплавами /Найдич Ю.В.//Журнал физической химии.-1959.-№ 33.-С.36-38.
2. Новые износостойкие металлокерамические материалы с использованием карбида титана /Кипарисов К.Н.//Наука,М.-1972.
3. Авторское свидетельство СССР от 29.12.1971, № 390862. Способ приготовления металлокерамических изделий /Петров Г.Н., Волошин Э.К.//Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки», 1970, № 12.

Получено 03.05.2010г.

СОДЕРЖАНИЕ

Денисенко А.И. Анализ проявления эффекта галопирования при инъекционном синтезе тонких ленточных электродов	3
Наумова И.Ю. Исследование зависимости характера взаимодействия пластины со сжимающими ее штампами от значения торцевых нагрузок	11
Егоров А.А. Повышение чувствительности нечеткой кластеризации на основе адаптивной модификации яркости и контраста	23
Федорович А.И. Критерий Буша-Винда в задачах мониторинга технических объектов	36
Яцук Ю.В., Макаренко О.С. Системы нейромережевого типу з урахуванням передбачення	45
Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И. Оптимальное проектирование корродирующих конструкций при интервальных характеристиках параметра агрессивной среды	51
Новікова К.Ю., Водозазький Ю.О., Журба А.О., Михальов О.І. Налаштування параметрів генератора фрактальних поверхонь з використанням нечітких алгоритмів	58
Ярошук Е.Г. Методика оценки активности обнаруженного источника гамма-излучения с использованием гамма-сканера кругового обзора	63
Селівьорстов В.Ю., Михайловська Т.В. Автоматизоване визначення режиму газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі	73
Плахотник В.Ю., Поляков Г.А. Томографические возможности систем визуализации гамма-излучения с кодированными апертурами	79
Войлов П.Ю., Ильченко А.А., Шаповалов В.Д. Некоторые вопросы формирования базы знаний в задаче идентификации радиоизотопного состава источников ионизирующего излучения ...	88
Мороз Н.Г. Аналоговый процессор для спектрометра ионизирующих излучений	98
Калюжный А.В. Исследование влияния конструкционных шумов на полезный сигнал детектора скрытых пустот “Рось – 4М”	105

Павлюченков И.А., Волошин Р.В., Сало Е.В., Овчаренко Т.Н. Математическое моделирование кинетики плавления тугоплавких материалов цилиндрической формы на границе шлак – металл ...	113
Павлюченков И.А., Сало Е.В., Пиптюк В.П., Андриевский Г.А., Ковальчук И.А. Математическое и программное обеспечение расчета процесса плавления на границе шлак-металл сферы из тугоплавкого материала	122
Гнатушенко В.В., Гнатушенко Вікт.В., Дмитрієва І.С. Сінергетична обробка радіолокаційних і оптичних даних	128
Сусли Н.В., Калинин В.Т. Моделирование процесса кристаллизации мелющих шаров из модифицированного наноматериалами чугуна	134
Сегеда Я.В., Калинин В.Т. Исследование повышения износостойкости рабочего слоя отливок путем поверхностного легирования нанодисперсными материалами	140

РЕФЕРАТЫ

УДК 669.017.3:532.529.5

Денисенко О.І. **Аналіз прояву ефекту галоупування при інжекційному синтезі тонких стрічкових електродів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.3 – 10.

Розглядаються прояви галоупування тонкого стрічкового композитного електроду, який формується із використанням інжекції в його поверхню мікрочасток електрохімічно активних речовин і переміщується відносно надзвукового двофазного струменя, що інжектує.

Бібл. 8, іл. 1.

УДК 539.3

Наумова І. Ю. **Дослідження залежності характеру взаємодії пластини зі штампами, що її стискають, від значення торцевих навантажень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.11 – 22.

Розглянута контактна задача про взаємодію пластини зі штампами, що її стискають, під дією торцевих навантажень у постановці уточненої теорії пластин. Отримано рівняння щодо контактних взаємодій в диференціальній формі і знайдено загальний інтеграл цих рівнянь. Досліджено чотири варіанти взаємного розташування пластини і штамів.

Бібл. 4, іл. 7.

УДК 004-93

Егоров А.О. **Вплив методики автоматизованого підвищення яскравості та контрасту на чутливість нечіткої кластеризації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.23 – 35.

Розглянуто вплив методики автоматизованого підвищення яскравості та контрасту на чутливість алгоритму гібридної нечіткої кластеризації sFCM, за допомогою якого виконувалась бінаризація RGB зображень залізничних вагонів з метою подальшого розпізнавання реєстраційних символів.

Бібл. 3, іл. 7.

УДК 620.179

Федорович А.І. **Критерій Буша-Винда в задачах моніторингу технічних об'єктів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.36 – 44.

Розглянута задача виявлення змін статистичних закономірностей показника критерію Буша-Винда при порівнянні однорідних і неоднорідних вибірок вимірів з різними законами розподілу ймовірностей. Шляхом проведення обчислювальних експериментів досліджена чутливість критерію до змін зрушення й масштабу для симетричних і асиметричних законів розподілу ймовірностей при різних довжинах вибірок вимірів.

Библ.3, іл.6.

УДК 681-513

Яцук Ю.В., Макаренко А.С. **Стемы нейросетевого типа с учетом предвидения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69). – Днепропетровск, 2010. – С.45 – 50.

В работе предложена и реализована одна из моделей нейросетей, которая учитывает свойство влияния опережения. В качестве базовой модели исследованная сеть типа Хопфилдовской. Основными принципиально новыми качествами, обнаруженными при исследовании есть то, что возможны многозначные решения данной нейросети. Исследованные разные типы поведения таких систем в зависимости от параметров.

Библ.6.

УДК 624.046.5

Зеленцов Д.Г., Коротка Л.И. **Оптимальне проектування кородуючих конструкцій при інтервальних характеристиках параметра агресивного середовища** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69). – Днепропетровск, 2010. – С.51 – 57.

Пропонується нова постановка задачі оптимізації кородуючих конструкцій при нечіткій заданій інформації про швидкість корозії. Цей параметр описується лінгвістичною змінною, кожному значенню якої відповідає заданий інтервал зміни параметра. Використовується математичний апарат теорії нечітких множин, який дозволяє формалізувати початкові дані. Приводиться аналіз результатів чисельного експеримента.

Библ.6.

УДК 530.1:681.3.068

Новикова Е.Ю., Водолазский Ю.А., Журба А.А., Михалев А.И. **Настройки параметров генератора фрактальных поверхностей с использованием нечетких алгоритмов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69). – Днепропетровск, 2010. – С.58 – 62.

Исследована зависимость фрактальных параметров от типа поверхности, которая основана на плоских изображениях мозаики Пенроуза и количества итераций, что позволит генерировать поверхности с необходимыми фрактальными параметрами.

Библ.5.

УДК 539.16.07, 539.122.164.074.3, 539.121.6/.7.07

Ярошук Є.Г. **Методика оцінки активності ви'явленого джерела гамма-випромінювання в польових умовах з використанням гамма-сканера кругового огляду** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69). – Днепропетровск, 2010. – С.63 – 72.

Запропонована методика оцінки активності при виявленні джерела гамма-випромінювання в польових умовах з використанням гамма-сканера кругового огляду. Розроблений алгоритм точкової оцінки активності джерела по зареєстрованому спектру з напрямку, проводилося дослідження теоретичних та методичних передумов до формування інтервальної оцінки.

Бібл. 6, іл. 1

УДК 004.42, 621.746.6.001.2

Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В. **Автоматизированное определение режима газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме** //

Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.73 – 78.

Приведено описание программного средства, которое предназначено для определения режима осуществления газодинамического воздействия на расплав в литейной форме. Работа автоматизированной системы основана на методике расчета режима осуществления технологического процесса газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме, в основе которой лежит пошаговое вычисление диапазона рабочих давлений в системе отливка-устройство для ввода газа.

Бібл. 5, илл. 2, табл. 1.

УДК 621.039.555

Плахотнік В.Ю., Поляков Г.А. **Томографічні можливості систем візуалізації гамма-випромінювання з кодованими апертурами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.79 – 87.

В статті розглядаються томографічні можливості систем візуалізації гамма-випромінювання з кодованими апертурами. Методами математичного моделювання досліджень вплив дефокусування системи на її зображувальні властивості. Проаналізовані томографічні властивості систем візуалізації з одновимірними кодувальними масками на базі множин квадратичних лишків.

Бібл. 8, іл. 4.

УДК 539.122.164.074.3

Войлов П.Ю., Ильченко О.О., Шаповалов В.Д. **Деякі питання формування бази спектрів в завданні ідентифікації радіоізотопного складу джерел іонізуючого випромінювання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.88 – 97.

У статті розглянуті деякі питання побудови системи ідентифікації радіонуклідів по їх спектру методом прямого порівняння. Сформульований принцип роботи ієрархічної системи ідентифікації. Запропоновано спосіб обчислення граничної кількості моделей в базі, а також спосіб оцінки ефективності вибраної міри близькості. Виконаний ряд експериментів, на базі яких створений макет системи ідентифікації.

Бібл. 7, іл. 2, табл. 1

УДК 621-31

Мороз М.Г. **Аналоговий процесор для спектрометра іонізуючих випромінювань** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.98 – 104.

У роботі представлений варіант реалізації аналогового процесора для спектрометра іонізуючих випромінювань. Проведене моделювання роботи його основних вузлів за допомогою програмного симулятора Spice.

Бібл. 2, іл. 4.

УДК 59.45.39: 58.31.33

Калюжний А.В. **Дослідження впливу конструкційних шумів на корисний сигнал детектору прихованих порожнеч "РОСЬ – 4М"** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.105 – 112.

Представлені результати по дослідженню впливу конструкційних шумів на корисний сигнал детектору прихованих порожнеч "РОСЬ – 4М". Дослідження проводились методом комп'ютерного моделювання взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною за допомогою пакету програм GEANT 4.

Бібл.2, іл.3, табл. 1.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

Павлюченков І.О., Сало О.В., Волошин Р.В., Овчаренко Т.Н. **Математичне моделювання кінетики плавлення тугоплавких матеріалів циліндричної форми на межі шлак–метал** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.113 – 121.

Метою запропонованої (наведеної) статті є розробка алгоритмів двовимірних задач розрахунку (на основі методу Дюзимбера) кінетики плавлення кускових матеріалів в розплаві циліндричної форми при несиметричних граничних умовах. В роботі приведено математичне моделювання кінетики плавлення тугоплавких матеріалів (температура плавлення матеріалу вище температури тверднення розплаву и нижче температури розплаву) на міжфазній границі шлак-метал.

Бібл. 7, іл. 1, табл. 1.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

Павлюченков І.О., Сало О.В., Пиптюк В.П., Андриєвський Г.О., Ковальчук І.А. **Математичне та програмне забезпечення розрахунку процесу плавлення на межі шлак-метал сфери з тугоплавкого матеріалу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.121 – 127.

У статті розглянуто тепломасообмінний процес при плавленні добавок на межі шлак–метал у сталерозливному ковші при позапічній обробці металу. Враховано випадок, коли розглянута добавка частково занурена у розплав сталі, а частково знаходиться у розплаві шлаку. Розроблено алгоритм розрахунку двовимірної задачі плавлення тугоплавких матеріалів сферичної форми на основі різницевого метода Дюзимбера.

Бібл. 2, іл. 1.

УДК 528.71

Гнатушенко В.В. **Сінергетична обробка радіолокаційних і оптичних даних** / В.В. Гнатушенко, В.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.128 – 133.

Проаналізовано можливості сінергетичної обробки радіолокаційних і оптичних даних. Наведено алгоритм інтерферометричної обробки пари радіолокаційних зображень із метою одержання ЦМР, що використовується для подальшого злиття радіолокаційних і оптичних зображень.

Бібл. 4, іл. 3.

УДК 621.74.002.6

Сусло Н.В., Калинин В.Т. **Моделирование процесса кристаллизации мелющих шаров из модифицированного наноматериалами чугуна** // Системные технологии.

Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.134 – 139.

Рассмотрены существующие технологии получения чугунных мелющих шаров. Приведена установка для литья шаров. Приведены результаты компьютерного моделирования процессов кристаллизации чугунных мелющих шаров.

Бібл. 6.

УДК 621.746.39

Сегеда Я.В., Калінін В.Т. **Дослідження підвищення зносостійкості робочого шару виливок шлях поверхневого легування нанодисперсними матеріалами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4(69).– Днепропетровск, 2010. – С.140 – 145.

Показані особливості технології застосування тугоплавких нанодисперсних матеріалів для підвищення зносостійкості робочого поверхневого шару чавунних виливок. Зроблені заміри глибини пропитки зразків. Проведені аналіз мікроструктури поверхневого композитного шару і випробовування на зносостійкість.

Бібл. 3.

UDC 669.017.3:532.529.5

Denysenko O.I. **Analysis of the event of galloping effect at the injection synthesis of thin tape electrodes** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.3 – 10.

The displays of galloping of thin band composite electrode, formed with the use of injectia in his surface of microparticless electrochemically active matters and moved relatively of supersonic diphasic stream are examined.

Libr. 8, ill. 1.

UDC 539.3

Naumova. I.Y. **Dependence of the nature of the interaction of a plate and squeezed her stamp on the value of a torus-ferromanganese loads** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.11 – 22.

We consider a contact problem of interaction of a plate and compressed it dies under the influence of end-loads in the formulation of the refined theory of plates. We obtained to allow equations for contacts interactions in differential form and find the general integral of these equations. We investigate four variants of mutual arrangement of plates and dies.

Bibl. 4, ill. 7.

UDC 004-93

Yegorov A.A. **Effect of method automated brightness and contrast on the sensitivity of fuzzy clustering** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.23 – 35.

This article deals with research of the automated intensity and contrast enhancement method influence to hybrid fuzzy clustering algorithm sFCM used for RGB image of railcars binarization for registration symbol recognition.

Lit. 3, fig. 7.

UDC 620.179

Fedorovich A.I. **Criterion Bush-Wind in tasks of monitoring technical objects** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.36 – 44.

The problem of detection statistical regularity of criterion Bush-Wind is considered. Homogeneous and non-uniform samples of measurements are considered They have various laws of distribution of probabilities. By carrying out of computing experiments sensitivity of criterion changes of shift and scale is investigated. Experiments were carried out for symmetric and asymmetric laws of distribution and various lengths samples of measurements.

Bibl. 3, ill. 6.

UDC 681-513

Yatcuk J.V., Makarenko A.S. **Sytems of neural networks type taking into account the anticipation** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.45 – 50.

In work offered and realized one of models of neural networks, which takes into account property of influencing of future. In quality a base model the Hopfield type models have been explored. The basic new qualities, discovered at research there is that possible multi-valued solutions of given neural networks. Different types of behavior of such systems was explored depending on parameters.

Bibl. 6.

UDC 624.046.5

Zelentsov D.G., Korotka L.I. **Optimum designing of designs subject to corrosion at interval characteristics of parametre of an excited environment** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.51 – 57.

New statement of a problem of optimisation of designs exposed to corrosion is offered at the indistinct set information on speed of corrosion. This parametre is described by linguistic variables, to each of which there corresponds the set interval of change of parametre. The mathematical apparatus of the theory of the indistinct sets is used, allowing to formalize the indistinct initial data. The analysis of results of numerical experiment is resulted.

Bibl. 6.

UDC 530.1:681.3.068

Novikova K., Vodolazsky Y., Zhurba A., Mikhalev A.I. **The settings of the generator fractal surfaces using fuzzy algorithms** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.58 – 62.

The dependence of fractal parameters on the type surface, which is based on flat images mosaic Penrose and the number of iterations, which will generate a fractal surface with the necessary parameters.

Bibl.5.

UDC 539.16.07, 539.122.164.074.3, 539.121.6/.7.07

Yaroschuk E.G. **A method for estimation of the activity of gamma-radiation source using a gamma-scanner** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.63 – 72.

A method is proposed for estimation of the activity of gamma-radiation source in field condition useing gamma-scanner. An algorithm is described for point estimate of source activity using the spectra reconstructed with gamma-scanner for the source direction. A study of theoretical and methodological prerequisites for the interval estimate of the source activity is done.

Bibl. 6.

UDC 004.42, 621.746.6.001.2

Selivorstov V., Mikhaylovskaya T. **Automated determination of gas-dynamic effect regime on the hardening metal in the mold** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.73 – 78.

The description of the software tool that is designed to determine the mode of gas-dynamic effect on the melt in the mold. Of automated systems based on the methodology of calculation of the implementation of process gas flow impact on solidifying metal in the mold, which is based on a step by step calculation of the range of working pressures in the system casting-a device for introducing gas.

Bibl. 5, pic. 2, tabs. 1.

UDC 621.039.555

Plakhotnik V.Yu., Polyakov G.A. **Tomographic capabilities of the gamma-ray imaging system with coded apertures** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.79 – 87.

Tomographic capabilities of the gamma-ray imaging system with coded apertures are considered in the paper. Influence of system defocusing on its imaging properties was investigated by mathematic modeling methods. Tomographic properties of imaging systems with one-dimensional coding masks on the base of quadratic residues sets were analyzed.

Bibl. 8.

UDC 539.122.164.074.3

Voylov P.Yu., Ilchenko A.A., Shapovalov V.D. **Some Problems of Spectra Database Creation while performing the Radioactive Isotope Identification** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.88 – 97.

In the article there are reviewed some problems of the creation of the Radioactive Isotope Identification (RIID) system implementing direct comparison method. The principle of functioning for hierarchical RIID system is described. The upper bound for required models' number is formulated, as well as the way to estimate the effectiveness of distance metric. The set of field experiments is done, by which a functioning prototype is created.

Ref. 7, fig. 2, tab. 1

UDC 621-31

Moroz N. **Analog processor for the spectrometer of ionizing radiations** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.98 – 104.

The variant of realization of analog processor is in-process presented for the spectrometer of ionizing radiations. The design of work of his basic knots is conducted by the programmatic simulator of Spice.

Ref. 2, fig. 4.

UDC 59.45.39: 58.31.33

Kalyuzhnyy A.V. **Research of of constructions noises on the useful signal of detector of the hidden emptinesses of "ROS – 4M"** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.105 – 112.

Presented results on research of constructions noises on the useful signal of detector of the hidden emptinesses of "ROS – 4M". Researches were uses the methods of computer modeling of process of interaction ionizing radiation with the matter through the softwares package of GEANT 4.

Bibl. 2, pic. 3, tabl. 1.

UDK 536:669.02.09:669.054.82:005

Pavluchenkov I.A., Salo E.V., Voloshin R.V., Ovcharenko T.N. **The mathematics modelling melting kinetics of the cylindricity refractory on the scope slag – metal** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.113 – 121.

The develop analysis tasks algorithm (on basis of method Dzumber) melting kinetics of the lump materials on the cylindricity malt by an irregular boundary conditions are object this item. The mathematics modeling melting kinetics of the refractory (melting temperature of material is higher than temperature of induration malt and lower than temperature melt) on the interphase scope slag – metal adduce in this work.

Bibl. 7, ill. 1, tabl.1

UDK 536:669.02.09:669.054.82:005

Pavluchenkov I.A., Salo E.V., Piptuk V.P., Andrievskiy G.A., Kovalchuk I.A. **The mathematics modelling melting process on the scope slag – metal shpere of refractory metal** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.121 – 127.

The heat-exchange process by supplements' melting on the scope slag – metal in the casting ladle by processing metal outside stove considers in this item. The case is allowed, when considering addition partially dip in the melt of steel and partially is in the melt of steel. The algorithm of analysis two-dimensional tasks of melting cylindricity refractory on basis of method Dzumber is developed.

Bibl. 2, ill. 1.

UDK 528.71

Gnatushenko V.V. **Synergetics machining of radar and optical data** / V.V. Gnatushenko, V.V. Gnatushenko, I.S. Dmitrieva // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.128 – 133.

Capabilities of coprocessing of radar and optical data are parsed. The algorithm interferometry machining of pair radar displays for the purpose of obtaining DEM which is used for further fusion radar and optical images is resulted.

Bibl. 4, ill. 3.

UDK 621.74.002.6

Suslo N.V., Kalinin V.T. **Modeling of crystallization process of grinding balls made of modified nanomaterials iron** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.134 – 139.

The existing technology of cast iron grinding balls. Shows the setup for casting balls. The results of computer simulation of solidification of cast iron grinding balls.

Bibl. 6.

UDK 621.746.39

Segeda Y.V., Kalinin V.T. **Increased wear resistance of the working layer of castings by surface alloying nanodisperse materials** // System technologies. N 4(69) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.140 – 145.

The features of application technology of refractory nanosized materials to improve wear resistance of the working surface layer of iron castings. Made soundings impregnation samples. Analysis of the microstructure of the surface composite layer and testing the endurance.

Bibl. 3.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Денисенко Александр Иванович - кандидат технических наук, доцент кафедры физики, НМетАУ.

Наумова И.Ю. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры строительной механики, НМетАУ.

Егоров Артем Александрович - старший викладач кафедри АСОІ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Федорович А.И. - Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Яцюк Юлия - магистр физико-технического института НТУУ, КПИ.

Макаренко Александр - д.ф.-м.н., проф., зав отделом прикладного нелинейного анализа Института прикладного системного анализа НТУУ, КПИ.

Зеленцов Дмитрий Геннадьевич – заведующий кафедрой компьютерных технологий и высшей математики Государственного высшего учебного заведения «Украинский государственный химико-технологический университет», доктор техн. наук, профессор.

Короткая Лариса Ивановна – ассистент кафедры компьютерных технологий и высшей математики Государственного высшего учебного заведения «Украинский государственный химико-технологический университет».

Новикова Екатерина Юрьевна – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Водолазский Юрий Александрович – ассистент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Журба Анна Алексеевна – ассистент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., профессор кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Ярошук Евгений Геннадиевич - младший научный сотрудник, Научно – исследовательский и проектно – конструкторский институт «Искра».

Селиверстов Вадим Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры литейного производства, НМетАУ.

Михайловская Татьяна Витальевна – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Плахотник Владимир Ювинальевич - старший научный сотрудник, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Искра».

Поляков Геннадий Анатольевич - научный сотрудник, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Искра».

Войлов Павел Юрьевич - зав. лабораторией НИПКИ «Искра», г.Луганск.

Ильченко Алексей Александрович - студент ВНУ им.Дала, г.Луганск.

Шаповалов Валентин Дмитриевич - к.т.н., директор НИПКИ «Искра», г.Луганск.

Мороз Николай Георгиевич - старший научный сотрудник, Научно – исследовательский и проектно – конструкторский институт «Искра».

Калужный Андрей Валериевич - зав. научно-исследовательской лабораторией компьютерных информационно-аналитических систем Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Искра».

Павлюченков Игорь Александрович – д.т.н., профессор, Днепродзержинский государственный технический университет.

Сало Елена Васильевна - к.т.н., Днепродзержинский государственный технический университет.

Андриевский Григорий Александрович - аспирант каф. ПОАС, Днепродзержинский государственный технический университет.

Ковальчук Ирина Александровна – директор, НПП «СОЛИС».

Пиптюк Виталий Петрович - к.т.н., Институт черной металлургии.

Гнатушенко Владимир Владимирович — д.т.н., профессор кафедры информационных технологий и систем НМетАУ.

Гнатушенко Виктория Владимировна — к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем НМетАУ.

Дмитриева Ирина Сергеевна — к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем НМетАУ.

Сусли Наталья Валериевна - старший преподаватель кафедры литейного производства, НМетАУ.

Калинин Василий Тимофеевич - д.т.н., профессор кафедры литейного производства, НМетАУ.

Сегеда Ярослав Васильевич - аспирант кафедры литейного производства, НМетАУ.