

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО КОНТАКТНОГО ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Разработана математическая модель разрушения кубических образцов горных пород при наличии контактного трения. Разработан метод, алгоритм и программа расчета предельного вертикального напряжения в вершине развивающейся трещины и расчета предела прочности кубических образцов шихтового сырья с использованием трех показателей свойств (предел сопротивления материала сдвигу, угол внутреннего трения, коэффициент контактного трения), которые простыми способами могут быть установлены экспериментально в условиях горнорудных предприятий, где результаты расчета могут быть оперативно использованы для управления процессами дезинтеграции.

Ключевые слова: математическая модель, алгоритм, программа, прочность, разрушение, кубические образцы, горные породы шихтового сырья, трещина, внутреннее трение, контактное трение.

Введение. Ежегодно дроблению и измельчению подвергаются миллиарды тонн минерального сырья и других материалов. На эти цели затрачивается более 20% общего производства электроэнергии. На измельчающие тела и футеровку рабочих органов дезинтеграционных машин расходуется металла более 2,5% его производства. На обогатительных фабриках на операции дробления и измельчения приходится 50-60% общих капитальных затрат. В металлургической промышленности около 40% стоимости металла и более 50% энергии затрачивается на переработку железнорудного сырья. Поэтому оптимизация технологических процессов дезинтеграции и конструкций дробильного-размольного оборудования с целью снижения энергопотребления является актуальной задачей. Поэтому в работе ставится задача обосновать построение математической модели и разработать программу расчета прочности образцов горных пород с учетом влияния характеристик контактного трения.

Основная часть. В последнее время создан и успешно эксплуатируется новый класс дробильно-измельчительного оборудования [1], однако приме-

няемые технологические схемы разрушения не используют всех возможностей более эффективного процесса разрушения, базирующегося на использовании влияния внутреннего и внешнего трения возникающего при взаимодействии инструмента с породой.

О влиянии внешнего трения на прочностные характеристики горных пород указывают исследователи [2, 3], однако они не дают способа учета этого влияния. Поэтому возникает необходимость определения влияния внешнего и внутреннего трения при разрушении горных пород на их предел прочности. Анализ литературных источников последних лет [4,5] показывает, что здесь продолжают господствовать чисто эмпирические зависимости, основанные на статистических энергетических критериях работы разрушения (Риттингера) и т.н. «кинетике измельчения». Эмпирико-статистический подход тормозит изучение механизмов разрушения хрупких материалов, в частности Криворожских железистых кварцитов. В результате, среди ряда специалистов в этой сфере до сих пор существуют взгляды, как минимум, спорные с позиций механики хрупких и механики пластичных материалов.

Рассмотрим два варианта разработки математической модели применительно к характеристикам трения. Накопленных к настоящему времени экспериментальных данных не достаточно для построения статистически достоверных регрессионных зависимостей. Причина не в малом количестве уже проведенных экспериментов, а в форме изложения их результатов, которые, как правило, представляются в виде усредненных показателей нагрузок одноосного сжатия σ_c , растяжения σ_p , а также угла внутреннего трения ρ и сопротивления сдвигу k_p .

Горная порода, из которой добываются шихтовые материалы отличаются высокой вариабельностью свойств в пределах одного месторождения. В этих условиях использование средних показателей практически исключает возможность получения из них статистически значимой регрессионной зависимости, например такой как σ_c от ρ . В лучшем случае, усредненные данные могут качественно подтвердить или опровергнуть закономерность, полученную другим путем.

Что касается внешнего трения, то данные по его значениям вообще не приводятся, а в расчетах процессов дезинтеграции практически не учитываются.

Поэтому мы будем строить математическую модель на основе анализа теоретического решения задачи сжатия образца с учетом внешнего трения на

контакте.

Алгоритм построения математической модели принимаем следующим:

- формирование базы данных, включающей расчетные значения предельной внешней нагрузки σ_c при различных значениях внутреннего и внешнего трения;

- анализ однопараметрического влияния каждой из характеристик трения на величину предельной нагрузки;

- анализ однопараметрических связей внешних нагрузок с показателем касательного сопротивления сдвигу k_n ;

- подбор искомой регрессионной зависимости;

Основные условия при построении математической модели – обоснованный выбор механической модели – решение задачи по сжатию образца с учетом внешнего трения, которая служит источником базы данных.

Расчет прочности горных пород при сжатии с учетом внутреннего и внешнего трения проводим следующим образом.

На рис.1 представлена детализированная расчетная схема задачи. Внешние нагрузки – вертикальная σ_y и горизонтальная σ_x изображены на ней равномерно распределенными. Этот часто встречающийся в расчетной практике вариант выглядит не вполне обоснованным при действии внешнего контактного трения, порождающего касательные напряжения на границе τ_k .

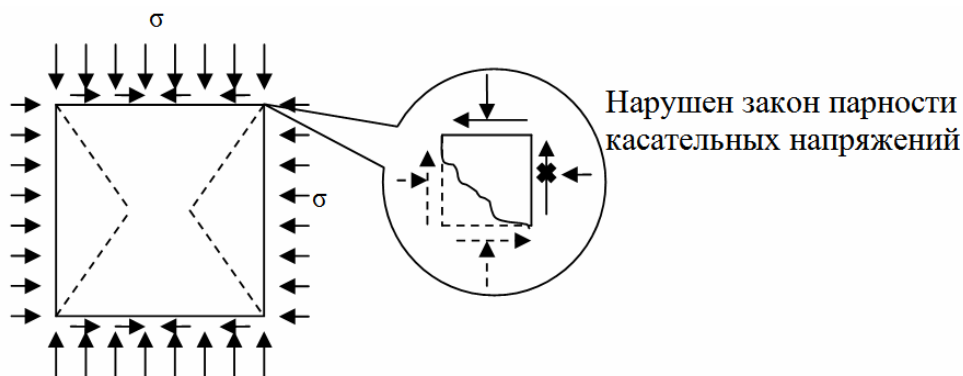


Рисунок 1 - Напряжения в угловой точке образца с прямоугольной формой под нагрузкой

Касательные усилия, действующие на поверхности элементарного прямоугольника, подчиняются закону парности – на смежных сторонах прямоугольника они равны по величине и «противоположны» по направлению – вращают весь прямоугольник в разные стороны.

Поскольку при одноосном сжатии (правая половина рисунка 1) по горизонтальной грани действует касательная сила τ_k , то такая же по величине сила должна действовать и по боковой грани.

Однако, по условию отсутствия нагрузки боковая грань свободна от усилий, тогда и горизонтальная грань должна быть свободна от касательных усилий. Но касательные усилия на горизонтальной грани порождены трением от вертикальной нагрузки. Если они равны 0, то и вертикальные напряжения тоже равны 0 – получается парадокс.

Избежать этого парадокса можно двумя путями: - считать, что в процессе деформирования образец сохраняет прямоугольную форму. Исходя из этого можно определить, что при одноосном сжатии касательное напряжение τ_k в точке а равно 0 как на вертикальной, так и на горизонтальной гранях образца. Признать, что и нормальное напряжение σ_y в точке а равно 0, поскольку именно оно порождает силу трения τ_k . Т.е. отказаться от равномерного распределения сжимающей нагрузки

Считать, что в процессе деформирования образец приобретает выраженную бочкообразную форму (рис.2). Тогда вертикальное касательное усилие, возникающее по закону парности, сместится внутрь образца, а на искривленной боковой грани его не будет.

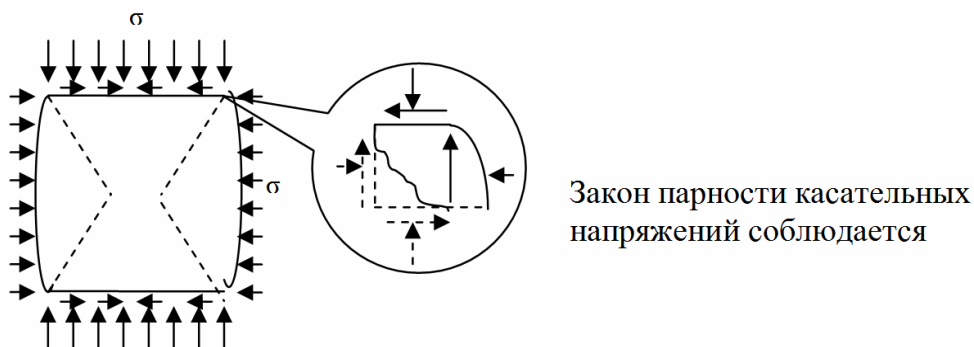


Рисунок 2 - Напряжения в угловой точке образца с бочкообразной формой под нагрузкой

Визуальные наблюдения показывают, что развитая бочкообразная форма характерна для образцов из пластичных материалов, а прямоугольная – для хрупких. Видимо, реальная форма хрупких образцов характеризуется слабо выраженным искривлением боковых поверхностей, а распределение внешней нагрузки – определенной неравномерностью, как это показано на рис.3.

Строго ответить на вопрос о действительном распределении вертикаль-

ной нагрузки по ширине контактной поверхности образца довольно сложно. Для этого надо решать контактную задачу, а это значит – дополнять уравнения равновесия не только условием предельного состояния, но и уравнениями перемещений и их связи с напряжениями. Фактически это обстоятельство означало бы переход от более простого метода характеристик к гораздо более сложному каноническому методу решения задачи.

Использование математического моделирования позволяет избежать этих трудностей – за счет раздельного учета влияния характеристик трения и контактных условий на величину предельной нагрузки.

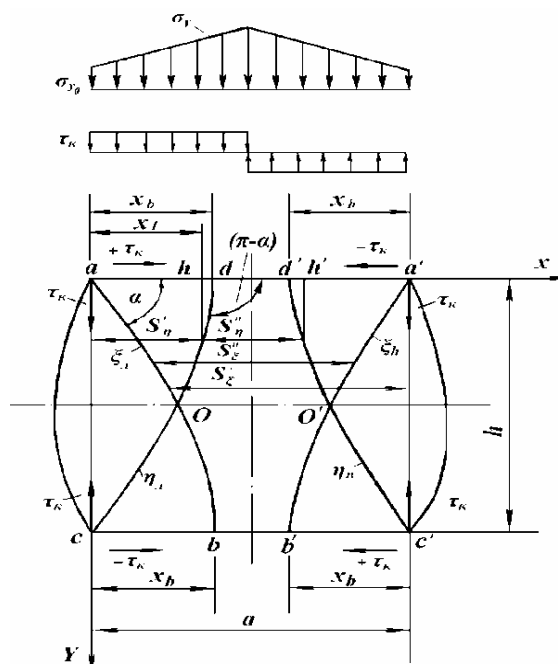


Рисунок 3 - Схема расчета предельной нагрузки

Посмотрим, еще раз на рисунки 2 и 3. Момент перехода в предельное состояние в угловой точке определяется только действующими в ней напряжениями и не зависит от напряжений в других точках образца. Зато он зависит от внутреннего (разумеется) и внешнего трения – если его нет, то нет и касательного напряжения.

Значит, комбинация напряжений σ_y и σ_x для предельного состояния угловой точки будет одинаковой и для расчетной схемы рис.2 и для расчетной схемы рис.3, если в них одинаковы значения внутреннего и внешнего трения.

Это свойство справедливо не только для угловых точек, но и для всех точек контактной поверхности.

Разница только в том, что для угловых точек нам сразу известна величина

σ_x – она равна боковой нагрузке образца, а для других точек контактной поверхности – нет. Но, и для этих точек комбинация σ_y и σ_x в предельном состоянии может быть посчитана по рис.2. А распределение σ_x и σ_y вдоль контактной поверхности (рис.3) учтено не зависимо от влияния характеристик трения.

Математическое выражение связи между комбинацией вертикальных и горизонтальных напряжений σ_y и σ_x , соответствующих предельному состоянию точки контактной поверхности образца с одной стороны, и величинами внутреннего и внешнего трения в этой точке с другой стороны, мы будем называть **математической моделью локального контактного влияния характеристик трения**.

При ее построении проигнорируем неравномерность распределения внешней нагрузки и будем руководствоваться расчетной схемой рисунка 2.

В работе [6] приведено уравнение активных касательных

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_k \cos 2\alpha \quad (1)$$

и нормальных напряжений на наклонной площадке

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_k \sin 2\alpha \quad (2)$$

а также алгебраическое уравнение равновесия

$$\tau_\alpha = \frac{1}{2} \sqrt{(1 + \mu^2)(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2} - \frac{\mu(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \quad (3)$$

и тригонометрических функций

$$\sin 2\alpha = - \frac{(\sigma_x - \sigma_y) - 2\mu\tau_k}{\sqrt{(1 + \mu^2)[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2]}},$$

$$\cos 2\alpha = \frac{\mu(\sigma_x - \sigma_y) - 2\tau_k}{\sqrt{(1 + \mu^2)[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2]}}$$

где σ_x и σ_y - нормальные горизонтальные и вертикальные напряжения.

α - угол наклонной площадки, на которой эффективные касательные напряжения по Кулону имеет наибольшее значение.

В расчетной модели используем теории линий скольжения.

Сетка линии скольжения, отвечающая дифференциальным уравнениям равновесия, условиям предельного равновесного состояния и условиям на границах сечения деформируемого тела, обладает рядом свойств, которые позволяют построить ее в конкретных условиях. Прежде всего, сетка линий скольжения должна удовлетворять условиям на границах рассматриваемого сечения деформируемого тела, т.е. направление линий скольжения в каждой точке, в том числе и на внешнем контуре, должно совпадать с направлением активного главного касательного напряжения.

При отсутствии трения на поверхности контакта или на свободной поверхности при деформировании тела без внутреннего трения она должна пересекать контур под углом $\frac{\pi}{4}$, при деформировании тела с внутренним трением – при сжатии по Кулону – под углом $\frac{\pi}{4} + \rho/2$, при растяжении $\frac{\pi}{4} - \rho/2$.

Построение линий скольжения в общем случае для тел при наличии контактного трения и отсутствии внутреннего является довольно сложным, поэтому решение будем искать методом итерации с использованием ЭВМ на базе геометрических свойств линий скольжения, т.е. вместо общего решения в замкнутой форме будем определять искомые напряжения в конечном числе узловых точек сетки линий скольжения, как это принято в приближенных графических методах решения задач деформирования твердых тел.

Предельное вертикальное нормальное напряжение является наиболее важной характеристикой напряженно-деформированного состояния материала, для получения численных значений которой направлены разрабатываемые методы расчета напряженного состояния горных массивов. Метод расчета предельного вертикального напряжения [7] может быть разработан на основании полученных ранее уравнений. С помощью полученных выражений (3) и выражений тригонометрических функций $\sin 2\alpha$ и $\cos 2\alpha$ преобразуем выражение (1). После чего имеем

$$\tau_{\alpha} = \frac{\cos \rho}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2}.$$

Далее продифференцируем по α уравнение (2)

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = (\sigma_x - \sigma_y) \cdot \sin 2\alpha - 2\tau_k \cos 2\alpha.$$

Преобразуем это выражение с помощью упомянутых тригонометрических функций к виду

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = -\cos \rho \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2}.$$

Из сравнения выражений первого выражения с третьим имеем

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = -2\tau_{\alpha}.$$

Согласно Кулону $\tau_{\alpha} = k + \mu\sigma_{\alpha}$. После подстановки этого выражения со знаком минус, получим важное дифференциальное уравнение равновесного состояния материала на линии скольжения ξ

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = 2(k + \mu\sigma_{\alpha}). \quad (4)$$

Аналогично поступим с выражениями напряжений на линии скольжения η , угол наклона которой равен $\pi - \alpha$. Получим уравнение со знаком минус множителя $(k + \mu\sigma_{\alpha})$

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = -2(k + \mu\sigma_{\alpha}). \quad (5)$$

Решение уравнения сводится к решению интеграла на линии скольжения между точками a и b (рис. 3)

$$\int_{\sigma_{\alpha b}}^{\sigma_{\alpha a}} \frac{d(k + \mu\sigma_{\alpha})}{\mu} = 2 \int_{\alpha_b}^{\alpha_a} d\alpha, \quad (6)$$

которое имеет вид

$$\frac{k_b + \mu\sigma_{\alpha b}}{k_a + \mu\sigma_{\alpha a}} = e^{2\mu\alpha_{ba}}. \quad (7)$$

Для того, чтобы определить предельное вертикальное нормальное напряжение, нужно σ_{α} выразить через σ_y , знать предельное значение сопротивления сдвигу k_n материала в точке a , текущее значение k_b в упругой области на нижней контактной поверхности в точке b , угол поворота линий скольжения и, разумеется, коэффициенты внутреннего и внешнего трения.

Угол наклона линии скольжения определим по известному уравнению.

$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \rho/2 + \beta, \quad (8)$$

т.е.

$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \rho/2 + \frac{1}{2} \arctg \frac{2\tau_k}{\sigma_x - \sigma_y}.$$

Из известной методики[6]

$$\beta = \frac{1}{2} \arctg \frac{b \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1-b^2}} \quad (9)$$

В механике деформирования металлов [8] принято обозначать через γ меньший из углов, который образуют линии скольжения с касательной контактной поверхности. На основании выражения (8) при $\rho=0$ получено

$$\gamma = \frac{\pi}{4} + \beta. \quad (10)$$

Общее выражение для определения нормального напряжения σ_α на линии скольжения.

$$\begin{aligned} \sigma_\alpha &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sin \rho}{2} [2k \cos \rho - (\sigma_x + \sigma_y) \sin \rho] = \\ &= \frac{(\sigma_x + \sigma_y) \cos^2 \rho}{2} - k \cos \rho \sin \rho. \end{aligned}$$

В работе [6] приводится значение σ_x

$$\sigma_x = \frac{2(k + \mu\sigma_y)}{\cos \rho} (\sin \rho - \sqrt{1-b^2}) + \sigma_y, \quad (11)$$

где $b = \frac{\tau_k}{k_n + \mu\sigma_y}$

Тогда полусумма нормальных напряжений

$$\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{(k_n + \mu\sigma_y)}{\cos \rho} (\sin \rho - \sqrt{1-b^2}) + \sigma_y. \quad (12)$$

Беря значение полусуммы нормальных напряжений на основании выражения (12) имеем

$$\sigma_\alpha = \sigma_y (1 - \sin \rho \sqrt{1-b^2}) - k_n \cos \rho \sqrt{1-b^2}. \quad (13)$$

Таким образом, мы имеем общие подстановочные формулы (8), (13), необходимые для решения уравнения (7).

Теперь предстоит найти выражение для расчета напряжений σ_{y_0} в угловой точке a (рис. 3), в которой предполагается, что $\tau_{\square} = k_n$ – пределу прочности материала на сдвиг. Для этого используем уравнение (7). Решение этого уравнения осуществляем на основании выражений (8) и (13). Для точки a , учитывая, что в ней вследствие обнажения боковой поверхности нормальное напряжение σ_x равно нулю,

$$\sigma_\alpha = k_n \cdot \cos \rho \sqrt{1-b_a^2}, \quad (14)$$

а в точке b , в которой $\tau = k < k_n$,

$$\sigma_{a_b} = \sigma_y \left(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_b^2} \right) - k \cdot \cos \rho \sqrt{1 - b_b^2}. \quad (15)$$

Угол поворота линии скольжения α_{ba} определяется на основании уравнения (8)

$$\alpha_{ba} = \alpha_b - \alpha_a = \beta_b + \beta_a. \quad (16)$$

Следует подчеркнуть, что β_a при расчетах имеет отрицательный знак в верхней половине образца для линии скольжения ξ за счет отрицательности разности $(\sin \rho - \sqrt{1 - b_a^2})$ в формуле (9), а в нижней – плюс. Угол β_b имеет знак плюс для всей линии скольжения ξ , так как он рассчитывается на нижней контактной плоскости.

Тогда выражение (8) с учетом (14) – (16) можно представить в виде

$$\frac{(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2}) \cdot (k_b + \mu \sigma_{y_0})}{k_n (1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2})} = e^{2\mu(\beta_b + \beta_a)}.$$

После преобразований этого выражения для линии скольжения ξ (рис. 3) значение предельного продольного нормального напряжения в угловой точке

$$\sigma_{y_0} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{k_n (1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2}) e^{2\mu(\beta_b + \beta_a)}}{1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_b^2}} - k_b \right]. \quad (17)$$

Теперь предстоит определить k_b . Здесь предполагается, что σ_y и k_n известно. Решение свелось к замене местами k_n и k и замене β_a на β_b .

Тогда

$$k_b = \frac{(k_n + \mu \sigma_{y_0}) \cdot (1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2})}{(1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_b^2}) \cdot e^{2\mu(2\beta_b)}}. \quad (18)$$

Теперь необходимо определить параметры b_a и b_b , β_a и β_b . Как отмечалось, что знак контактных касательных напряжений принимаем положительным на верхней плоскости левой продольной половины образца против направления поперечной деформации. Тогда на нижней плоскости этой половины знак будет отрицательным. На правой половине контактные касательные напряжения будут иметь соответственно обратные знаки (рис. 3).

Параметры b_a и b_b определяются согласно этому положению

$$b_a = \frac{f_m \left(1 - \frac{2y}{h} \right) \cdot \sigma_{y_0}(x_a)}{k_n + \mu \sigma_{y_0}(x_b)}; \quad (19)$$

$$b_b = -\frac{f_m \sigma_{y_0}(x_b)}{\tau_b + \mu \sigma_{y_0}(x_b)}. \quad (20)$$

где $\sigma_{y_0}(x_b)$ – функция распределения нормальных напряжений ниж-ней кон-
тактной поверхности; x_b – абсцисса точки пересечения линии скольжения ξ , с
нижней контактной плоскостью, так называемой в теории пластичности точки
возврата второй линии скольжения η при $y=h$.

В силу того, что в точке a при достижении эффективного касательного на-
пряжения τ_a значения k_n – предела сопротивления материала сдвигу, образу-
ется трещина, которая и развивается по траектории максимальных эффективных
касательных напряжений, т.е. по линии скольжения. Поэтому в выражении (19)
учтено линейное затухание касательных напряжений от внешнего трения. Точ-
ка b для линии скольжения ξ является неподвижной. Поэтому значение кас-
тельного напряжения от внешнего трения учтено значением абсциссы x_b при
 $y=h$. Знак минус и плюс в выражениях (19) и (20) свидетельствует о различной
роли внешнего трения на контактных плоскостях, что будет показано в после-
дующем.

Параметры β_a и β_b определяются с помощью уравнения (9).

$$\beta_a = \frac{1}{2} \arctg \frac{b_a \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1-b_a^2}}; \quad (21)$$

$$\beta_b = \frac{1}{2} \arctg \frac{b_b \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1-b_b^2}}. \quad (22)$$

И, в заключение, отметим, что угол наклона линий скольжения определя-
ется по формулам (8) и (21), т.е.

$$\alpha_a = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2} + \frac{1}{2} \arctg \frac{b_a \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1-b_a^2}}. \quad (23)$$

Теперь сведем формулы для расчета продольного нормального напряже-
ния по линии скольжения ξ в угловой точке a (краевой приконтактной области)
в систему:

$$\sigma_{y_0} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{k_n \left(1 + \sin \rho \sqrt{1-b_a^2} \right) \cdot e^{\pm 2\mu(\beta_b + \beta_a)}}{1 - \sin \rho \sqrt{1-b_b^2}} - k_b \right); \quad (24)$$

$$k_b = \frac{1}{\mu} \frac{\left(k_n + \mu \sigma_{y_0} \right) \cdot \left(1 - \sin \rho \sqrt{1-b_a^2} \right)}{\left(1 + \sin \rho \sqrt{1-b_b^2} \right) \cdot e^{\pm 4\mu\beta}}; \quad (25)$$

$$b_a = \frac{f_m \left(1 - \frac{2y}{h}\right) \cdot \sigma_{y_0}(x_a)}{k_n + \mu \sigma_{y_0}(x_a)}; \quad (26)$$

$$b_b = -\frac{f_m \sigma_{y_0}(x_b)}{k_b + \mu \sigma_{y_0}(x_b)}; \quad (27)$$

$$\beta_a = \frac{1}{2} \arctg \frac{b_a \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1 - b_a^2}}; \quad (28)$$

$$\beta_b = \frac{1}{2} \arctg \frac{b_b \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1 - b_b^2}}. \quad (29)$$

Угол наклона линии скольжения ξ

$$\alpha_a = \frac{\pi}{4} + \rho/2 + \beta_a \quad (30)$$

Знак плюс в формулах (24) и (25) относятся к линии скольжения ξ , знак минус – к линии η .

Для расчета σ_y мы имеем систему из 6 уравнений при 12 параметрах, из которых три экспериментальные характеристики породы (k_n , μ , f_m) и два измеряемых геометрических параметра образца (a , h). В частном рассматриваемом случае принимаем $a=h$. В локальной области, например в точке a , эффективные касательные напряжения по Кулону $\tau_{\xi} \geq k_n$. Подчеркиваем, что в отличие от жестко-пластической модели, в других точках на линии скольжения ξ материал находится в упругом состоянии, т.е. в этих точках $\tau_{\xi} = k < k_n$, а при $y = h$ и $x = x_b$, $\tau_{\xi} = k_b < k_n$. В момент выхода трещины в точку b напряжение $k_b = k_n$.

Функция $\sigma_{y_0}(x_b)$ определяется конкретной закономерностью распределения нормальных и касательных напряжений на нижней контактной поверхности.

Решение системы уравнений производим методом итерации на ПЭВМ. Для этого разделяем образец на несколько слоев n , например на 18-20, исходя из высоты экрана монитора компьютера. Угол наклона линии скольжения слоя определяем на его верхней границе. По толщине слоя он принимается постоянным. Значения осей координат производим путем сложения соответствующих элементов Δy и Δx , при этом Δx определялся как $\Delta x = \Delta y \cdot \operatorname{ctg} \alpha$. На экран выводятся задаваемые и расчетные параметры всех 18-20 слоев. Следующей операцией выводятся на экран изображения линий скольжения, выходящих из углов образца или из других задаваемых точек, определяемых особенностями линий скольжения. В таблице 1 приведены задаваемые параметры.

Перечень задаваемых параметров в программе расчета

Наименование параметра	Обозначение в программе
Коэффициент сопротивления сдвигу	κ
Тангенс угла внутреннего трения ($\operatorname{tg} \rho$)	μ
Коэффициент внешнего трения	$F_{\max}$
Высота образца	$Y_{\max}$
Ширина образца	$X_{\max}$
Боковая нагрузка (σ_x)	0

В процессе расчета определялось значение вертикальной нагрузки Y_y (она на рисунках соответствует σ_y) на разных стадиях развития трещины – от ее возникновения, до выхода на противоположную поверхность. Весь процесс разбит на 18 шагов, каждый из которых соответствует определенной длине трещины. 0 шаг соответствует зарождению трещины, а 18 – ее выходу на противоположную поверхность.

Как и следовало ожидать, с ростом трещины значение вертикальной нагрузки (несущей способности образца) монотонно снижается от максимального значения в момент зарождения трещины, соответствующего временному сопротивлению, до минимального значения, соответствующего остаточной прочности разрушенного образца (рис. 4).

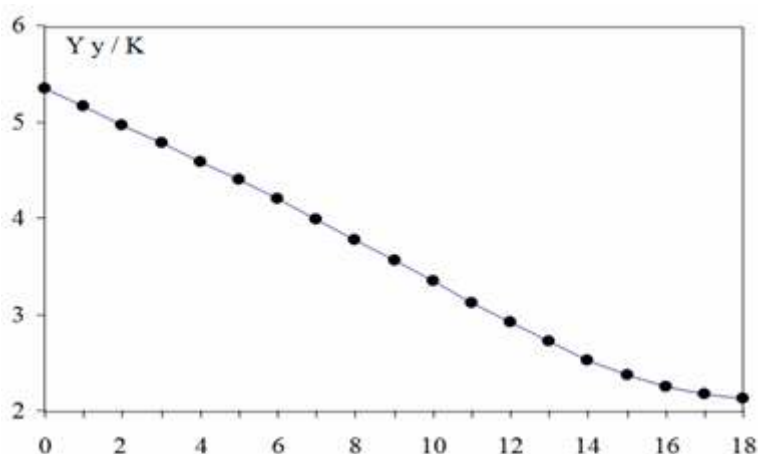


Рисунок 4 - Снижение несущей способности кубического образца при одноосном сжатии по мере развития трещины при $\mu = 1$, $f = 0,3$

В дальнейшем анализе под величиной Y_y будем подразумевать ее максимальное значение в момент зарождения трещины.

Анализ влияния коэффициента сопротивления сдвигу K на величину σ_c показал их пропорциональную зависимость, что позволяет в дальнейшем анализировать относительные величины Y_y/K и X_x/K .

X_x соответствует σ_x на рисунках.

В таблицах 2 и 3 приведены значения максимальной вертикальной нагрузки Y_y/K в зависимости от коэффициентов внутреннего μ и внешнего f трения при боковой нагрузке на образец кубической формы X_x/K равной 0 и 5 соответственно.

Таблица 2

Значения вертикальной нагрузки Y_y/K при одноосном сжатии ($X_x = 0$)

f	$\mu = \text{tg } \rho$					
	0	0,3	0,4	0,6	0,8	1
0	2	2,69	2,95	3,53	4,16	4,83
0,1	2	2,97	3,24	3,84	4,47	5,14
0,2	2	3,23	3,50	4,08	4,69	5,33
0,3	2	3,4	3,64	4,17	4,74	5,34
0,4	2			4,09	4,62	5,18

Таблица 3

Значения вертикальной нагрузки $Y_y/(2K)$ при трехосном сжатии ($X_x / K = 5$)

f	$\mu = \text{tg } \rho$					
	0	0,3	0,4	0,6	0,8	1
0	4,57	7,2	8,41	11,33	14,98	19,4
0,1		7,83	9,12	12,2	16,01	20,57
0,2		8,16	9,5	12,66	16,49	21,05
0,3			9,37	12,51	16,28	20,71
0,4				11,82	15,44	19,67

По таблицам построены зависимости сжимающей нагрузки Y_y/K при одноосном сжатии кубических образцов от величины внешнего трения f при различных значениях внутреннего трения μ , которые представлены на рис.5.

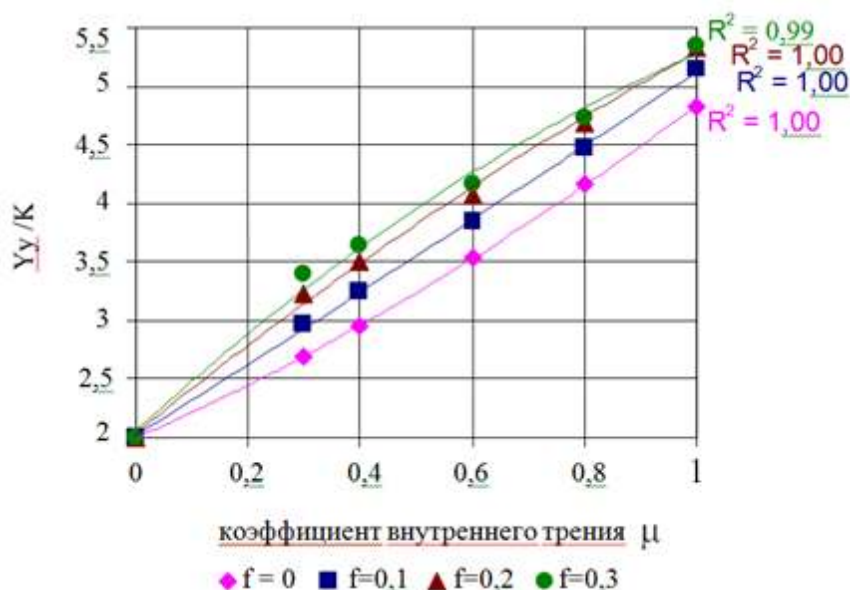


Рисунок 5- Влияние внутреннего трения на прочность одноосного сжатия кубического образца

По тем же таблицам построены и зависимости сжимающей нагрузки Yy/K при одноосном сжатии кубических образцов от величины внешнего трения f при различных значениях внутреннего трения μ , которые представлены на рис. 6.

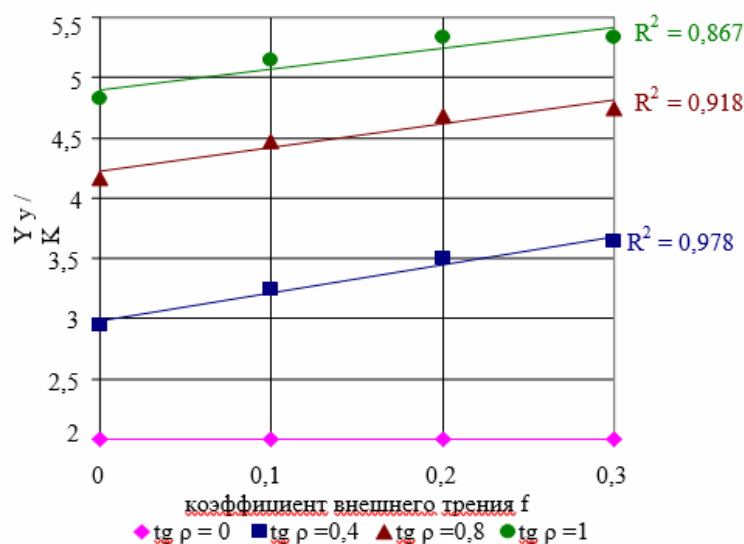


Рисунок 6 - Влияние внешнего трения на прочность одноосного сжатия кубического образца

Для большинства не шлифованных образцов горных пород и шихтового сырья значения внешнего трения f ниже и лежат в диапазоне 0,2 – 0,3. В реальном интервале изменения коэффициента внешнего трения в диапазоне от

0 – для тщательно отшлифованной поверхности, до 0,3 – для не шлифованной, его влияние на несущую способность кубического образца имеет практически линейный характер.

Степень влияния внешнего трения ниже, чем внутреннего. При изменении внешнего трения от 0 до максимума = 0,3 нагрузка меняется на 10–20%, а при изменении внутреннего трения $\mu = \operatorname{tg} \rho$ от 0 до максимума = 1 нагрузка увеличивается в 2,5 раза.

Не менее сильно несущая способность зависит от величины боковой нагрузки. Из рис.7 видно, что с ростом боковой нагрузки X_x/K от 0 до 5 предельная вертикальная нагрузка увеличивается в 4 раза (при $\mu = 1$).

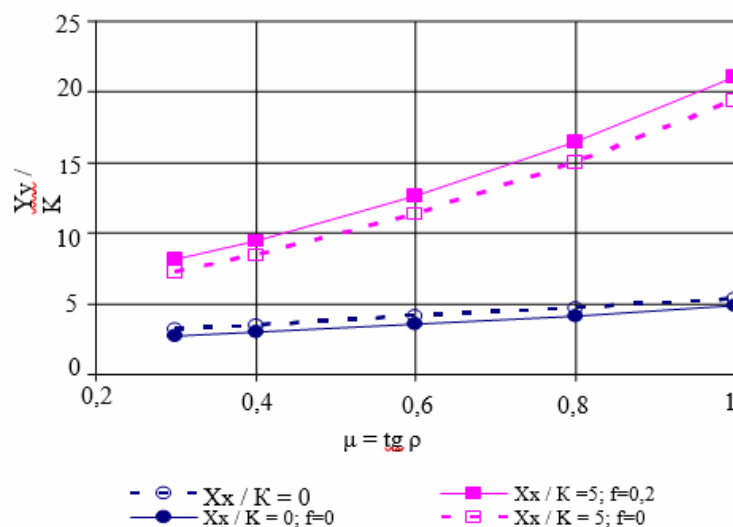


Рисунок 7 – Влияние величины боковой нагрузки кубического образца X_x на вертикальную нагрузку

Полученные зависимости позволяют определить предельные значения вертикальных нормальных напряжений по всему образцу по мере развития трещины.

В заключение отметим, что изложенным методом можно проводить оценку напряженно-деформированного состояния материала при нормальных сжимающих нагрузках, не достигающих предела прочности.

Заключение. Разработан метод расчета нормальных напряжений в вершине трещины, формирующейся на линии скольжения.

Разработанная математическая модель соответствуют имеющимся литературным данным, в частности учитывают т.н. «масштабный эффект» и эффект высокой чувствительности прочности образцов к изменению типа нагрузки – с одноосного сжатия на сжатие со скольжением.

Основными факторами влияния внешнего трения являются перераспределение нормальных напряжений на поверхности контакта и формирование поперечных (горизонтальных) напряжений внутри образца даже при действии только продольной (вертикальной) внешней нагрузки.

Приведенная методика позволит в дальнейшем оптимизировать технологические параметры и конструкции действующего дробильного оборудования для снижения энергозатрат при дезинтеграции в горнорудной и металлургической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. В.С. Блохин, В.И. Большаков, Н.Г. Малич. Основные параметры технологических машин. Машины для дезинтеграции твердых материалов: Учебное пособие ч.1 – Днепропетровск; ИМА - пресс. 2006. - 404с.
2. Барон, Л.И. Горно-техническое породоведение / Л.И. Барон. – М.: Наука, 1977. – 324 с.
3. Дудушкина К.И. Комплексный метод определения физико-механических свойств горных пород / К.И. Дудушкина, Г.Ф. Бобров. – Новосибирск: Наука. - 1970.– С 49–64.
4. Анализ связи между контактными напряжениями при сжатии горных пород / Л.М. Васильев [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 81. – С. 217-226.
5. Вискребенец, А.С. Коэффициент измельчаемости в мельницах динамического самоизмельчения / А.С. Вискребенец // Обогащение руд. – 2006. - №4.–С.3-4.
6. Панасюк, В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами / В.В. Панасюк. – К.: Наукова думка, 1968. – 245 с.
7. Васильев, Л.М. Метод расчета напряжений при внедрении штампа в упругий материал, обладающий внешним и внутренним трением / Л.М. Васильев, О.Н. Бычков // Новые методы разрушения и механика горных пород: сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – К.: Наук. думка, 1981. – С.3–8.Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. –423 с.

REFERENCES

1. V.S. Blokhyn, V.Y. Bolshakov, N.H. Malych. Osnovnye parametry tekhnolohyche-skykh mashyn. Mashyny dlia dezyntehratsyy tverdykh materyalov: Uchebnoe poso-bye ch.1 – Dnepropetrovsk; YMA - press. 2006. - 404s.
2. Baron, L.Y. Horno–tekhnicheskoe porodovedenye / L.Y. Baron. – M.: Nauka, 1977. – 324 s.

3. Dudushkina K.Y. Kompleksnyi metod opredeleniya fizyko-mekhanicheskikh svoystv hornnykh porod / K.Y. Dudushkina, H.F. Bobrov. – Novosibirsk: Nauka. – 1970. – S 49–64.
4. Analiz svyazy mezhdu kontaktnymi napriazheniyami pri szhatyy hornnykh porod / L.M. Vasylev [y dr.] // Neotekhnicheskaya mekhanika: Mezhd. sb. nauch. tr. / YNTM NAN Ukrainy. – Dnepropetrovsk, 2009. – Выр. 81. – S. 217-226.
5. Vyskrebenets, A.S. Koefitsyent yzmelchaemosti v melnytsakh dynamicheskogo samoymelcheniya / A.S. Vyskrebenets // Obobshchenye rud. – 2006. – №4. – S.3-4.
6. Panasiuk, V.V. Predelnoe ravновesye khrupkikh tel s treshchinyami / V.V. Panasiuk. – K.: Naukova dumka, 1968. – 245 s.
7. Vasylev, L.M. Metod rascheta napriazheniy pri vnedrenii shtampa v uprugiy material, obladaiushchii vneshnim y vnutrennim treniem / L.M. Vasylev, O.N. Vyichkov // Новые методы razrusheniya y mekhanika hornnykh porod: sb. nauch. tr. / YNTM NAN Ukrainy. – K.: Nauk. dumka, 1981. – S.3–8.
- Storozhev, M.V. Teoriya obrabotki metallov davleniem / M.V. Storozhev, E.A. Popov. – M.: Mashynostroyeniye, 1977. – 423 s.

Received 27.03.2021.

Accepted 19.04.2021.

Модельовання локального контактного впливу характеристик тертя на міцність шихтових матеріалів

Розроблено математичну модель руйнування кубічних зразків гірських порід при наявності контактної тертя. Розроблено метод, алгоритм і програму розрахунку граничного вертикального напруження у вершині тріщини, яка розвивається та межі міцності кубічних зразків шихтової сировини з використанням трьох показників властивостей (межа опору матеріалу зсуву, кут внутрішнього тертя, коефіцієнт контактної тертя), які простими способами можуть бути встановлені експериментально в умовах гірничорудних підприємств, де результати розрахунку можуть бути оперативно використані для управління процесами дезінтеграції.

Modeling the local contact influence of friction characteristics on the strength of charge materials

A mathematical model has been developed for the destruction of cubic rock samples in the presence of contact friction. The model corresponds to the available literature data, in particular, it takes into account the so-called. "Scale effect" and the effect of high sensitivity of the strength of samples to a change in the type of load - from uniaxial compression to compression with sliding. The main factors of the influence of external

friction are the redistribution of normal stresses on the contact surface and the formation of transverse (horizontal) stresses inside the sample even under the action of only a longitudinal (vertical) external load.

A method, an algorithm and a program for calculating the maximum vertical stress at the tip of a developing crack, which is formed on the slip line, have been developed.

A method is proposed for calculating the ultimate strength of cubic samples of charge raw materials using three property indicators (material shear resistance limit, internal friction angle, contact friction coefficient), which by simple methods can be established experimentally in mining enterprises, where the calculation results can be quickly used for control disintegration processes.

This will allow in the future to optimize the technological parameters and designs of the existing crushing equipment to reduce energy consumption during disintegration in the mining and metallurgical industries.

Малич Николай Григорьевич – к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины, Украина.

Усов Олег Александрович - к.т.н., с.н.с, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Украина.

Маліч Микола Григорович - к.т.н., доцент, Національна металургійна академія України, Україна.

Усов Олег Олександрович - к.т.н., с.н.с, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, Україна.

Malich Mykola - Ph.D., Associate Professor, National Metallurgical Academy of Ukraine, Ukraine.

Usov Oleg - Ph.D., senior researcher, Institute of Geotechnical Mechanics. N.S. Polyakova National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ NDVI ДЛЯ РІЗНОЧАСОВИХ ОПТИЧНИХ ТА РАДАРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. Зміни кліматичних умов на планеті суттєво ускладнюють ведення сільського господарства. Це призводить до зниження продовольчої безпеки по всьому світу. Ефективним рішенням є застосування космічних технологій, що дозволяють проводити супутниковий моніторинг стану с/г рослин та вирішити важливі агротехнічні задачі. Сучасні дослідження підтвердили, що для моніторингу полів необхідні рішення, які дозволять уникнути впливу хмарності на побудову часових рядів. У роботі проведено порівняльний аналіз показників нормалізованого відносного вегетаційного індексу (NDVI) для різночасових оптичних та радарних зображень зі супутників Landsat-8, Sentinel-1 та Sentinel-2 та визначено залежність стану озимої пшениці від кількості опадів. Дослідження були проведені на 5 ділянках площею 209 га з озимою пшеницею. У роботі було виявлено найвищу кореляцію між показниками NDVI, які отримані за допомогою радарного супутника Sentinel-1, та показниками кількості опадів. Проведені дослідження показали, що супутниковий моніторинг полів за допомогою радарної зйомки є більш ефективним за оптичну зйомку.

Ключові слова: супутниковий моніторинг полів, озима пшениця, радарні дані, оптичні дані, Landsat-8, Sentinel-2, Sentinel-1, NDVI, коефіцієнт детермінації, R².

Постановка проблеми. Зміни кліматичних умов на планеті, такі як аномальна спека, повені, лісові та торф'яні пожежі, суховії, ожеледі, суттєво ускладнюють ведення сільського господарства. Виснаження ресурсів сільськогосподарських земель та погіршення стану сільськогосподарських культур призводить до зниження продовольчої безпеки по всьому світу. Ефективним рішенням підвищення продуктивності аграрних робіт та урожайності є застосування космічних технологій, які забезпечують спостереження за станом сільгоспугідь будь-якого розміру та місця розташування. Супутниковий моніторинг дозволяє вирішити задачі картографування сільськогосподарських угідь, визначити стан ґрунту та насаджень на різних стадіях розвитку, вчасно

виявити процеси потенційної загрози урожаю, спрогнозувати погодні умови, планувати агротехнічні роботи та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки стану рослин, наявності хвороб, а також для прогнозування врожайності полів досліджується декілька основних показників вегетаційних індексів (NDVI, LAI, EVI). У роботі [1] метою дослідження було оцінити вплив опадів на рослинність та порівняти показники NDVI та індекс радіолокаційної вегетації (RVI). Порівняння двох індексів рослинності показало, що індекс NDVI із загальною точністю понад 70% має найбільшу здатність відокремлювати напівгусті ліси від густих. Однак індекс RVI є більш ефективним для відокремлення рідких лісів. Метою роботи [2] було отримання NDVI безхмарного продукту (NDVInc) шляхом моделювання Sentinel-2 NDVI з використанням різних методів регресії та зворотного розсіювання радіолокатора Sentinel-1. Отримані дані дозволяють з великою достовірністю моделювати NDVI сільськогосподарських культур протягом усього фенологічного циклу. У роботі [3] результати дослідження показали, що RVI бути ефективно використаний для моніторингу полів сої та бавовни, а також може бути використаний для контролю вологості ґрунту. У роботі [5] використовуються дані радарного супутника Sentinel-1 та оптичні зображення супутника Landsat-8 протягом чотирьох сезонів, щоб виявити взаємозв'язок між інтерферометричною когерентністю та NDVI на п'яти ділянках, що мають деформацію ґрунту внаслідок гірничих робіт. Дослідження показало, що значення інтерферометричної когерентності можна використовувати для виявлення густоти рослинності, тоді як значення NDVI можуть бути еталонними для з'ясування, коли можна ефективно використовувати традиційний диференціальний інтерферометричний радар із синтетичною апертурою (DInSAR). Проведені дослідження підтвердили, що для моніторингу полів необхідні рішення, які дозволять уникнути проблем, пов'язаних з високою хмарністю.

Метою дослідження є порівняльний аналіз показників нормалізованого відносного вегетаційного індексу (NDVI) для різночасових оптичних та радарних зображень зі супутників Landsat-8, Sentinel-1 та Sentinel-2 та визначення залежності стану озимої пшениці від кількості опадів.

Викладення основного матеріалу дослідження. У роботі досліджуються сільськогосподарські ділянки загальною площею більш ніж 850 га, які розташовані у дослідному господарстві у Дніпропетровській області, Україна (рис.1).



Рисунок 1 — Супутникове зображення із векторним шаром дослідної ділянки з озимою пшеницею

У районі помірно континентальний клімат. Середня температура січня становить від -5°C до $-6,5^{\circ}\text{C}$; липня — від $+23,5^{\circ}\text{C}$ до $+22^{\circ}\text{C}$. Середні опади в районі складають 400 мм. Основними культурами, які вирощуються, є озима пшениця, кукурудза, рапс та інші. Для дослідження відібрано 5 ділянок площею 209 га з озимою пшеницею, оскільки ця культура є найбільш залежною від погодних умов.

У роботі дослідження проводились за допомогою різночасових космічних зображень, отриманих зі супутників Landsat-8, Sentinel-1 та Sentinel-2. Часовий період супутникового моніторингу – з серпня по січень 2018 року.

Для первинних зображень було проведено геометричну та радіометричну корекцію для встановлення відповідностей та видалення помилок [7].

Нормалізований відносний вегетативний індекс (NDVI) – один із основних показників змін рослинності. Розраховується за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}, \quad (1)$$

де NIR – ближній інфрачервоний канал, R – червоний канал.

Для радарних даних NDVI розраховується за формулою:

$$NDVI = \frac{VH - VV}{VH + VV}, \quad (2)$$

де VH та VV поляризації зворотного розсіювання. Діапазон значень NDVI різниться від -1 до +1. Коли рослинність має високу щільність, цей показник ближче до +1, а у разі знищення або захворювання рослинності він зменшується до 0. Значення вегетаційного індексу NDVI для оптичних та радарних зображень наведені на рисунку 2.

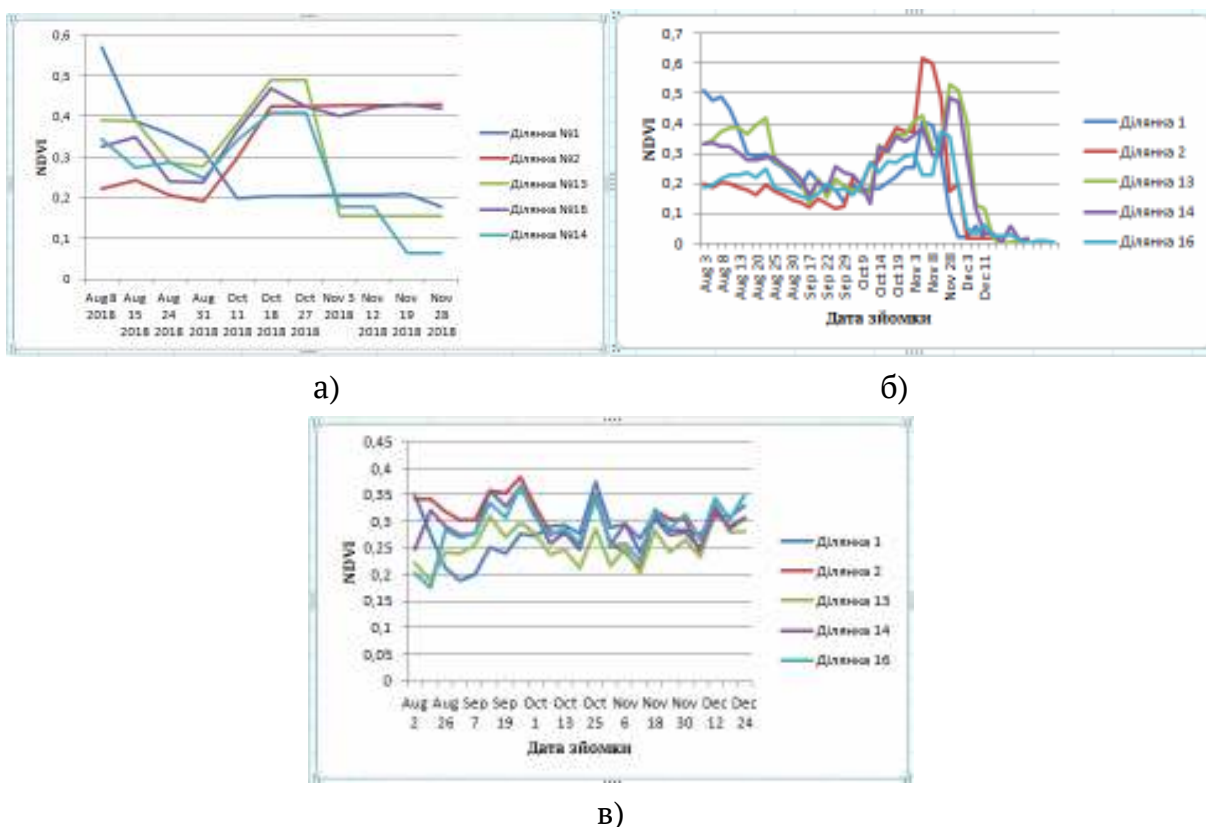


Рисунок 2 — Часові ряди NDVI, отримані з супутникових зображень, з серпня по січень у 2018 році для кожної дослідної ділянки:
а) Landsat-8; б) Sentinel-2; в) Sentinel-1.

Посів озимих зернових найчастіше відбувається у вересні-жовтні місяці. Саме тому побудовано часовий ряд вегетаційного індексу NDVI з серпня 2018 по січень 2018.

Для визначення залежності стану рослин від кількості опадів у роботі було розраховано коефіцієнт детермінації (R^2). Формула розрахунку:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]}, \quad (3)$$

де P_i — кількість осадів, O_i — значення NDVI, $\bar{O}$ — середнє значення, n — кількість пар даних.

Висновки. В залежності від сезону та погодних умов відрізняється відбивна здатність рослин, що призводить до змін показників вегетаційних індексів. Для оцінки стану та здоров'я сільськогосподарських культур варто враховувати кількість опадів, температуру повітря та вологість ґрунтів. У роботі було виявлено найвищу кореляцію між показниками NDVI, які отримані

за допомогою радарного супутника Sentinel-1, та показниками кількості опадів. Коефіцієнт детермінації для радарних зображень Sentinel-1 дорівнює 25,65%, для оптичних зображень – 11,49%. Внаслідок того, що зображення зі супутника Landsat-8 мають просторову роздільну здатність в 2 рази менше ніж зі супутників Sentinel-1-2, кореляція між показниками є мінімальною. Проведені дослідження показали, що супутниковий моніторинг полів за допомогою радарної зйомки є більш ефективним за оптичну зйомку.

REFERENCES

1. S.Yaghobi Comparing NDVI and RVI for forest density estimation and their relationships with rainfall (Case study: Malekshahi, Ilam Province)/ Yaghobi S., Heidarizadi Z., Mirzapour H.//Environmental Resources Research.–Vol.7, No.2, 2019.
2. Roberto Filgueiras. Crop NDVI Monitoring Based on Sentinel 1/Roberto Filgueiras, Everardo Chartuni Mantovani, Daniel Althoff, Elpidio Inacio Fernandes Filho, Fernando França da Cunha//Remote Sens. –11, 1441, 2019.
3. Dinesh Kumar. Radar Vegetation Index as an Alternative to NDVI for Monitoring of Soyabean and Cotton/Dinesh Kumar, Srinivasa Rao and Jaswant RAJ Sharma.//Indian Cartographer. – Vol. XXXIII, 2013.
4. Violeta Poenaru. Multi-temporal multi-spectral and radar remote sensing for agricultural monitoring in the Braila Plain/Violeta Poenaru, Alexandru Badea, Sorin Mihai Cimpeanu, Anisoara Irimescu.//Agriculture and Agricultural Science Procedia 6 – 506 – 516, 2015.
5. Alejandro Mestre-Quereda. Time-Series of Sentinel-1 Interferometric Coherence and Backscatter for Crop-Type Mapping/Alejandro Mestre-Quereda, Juan M. Lopez-Sanchez, Fernando Vicente-Guijalba, Alexander W. Jacob, Marcus E. Engdahl//IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing – Vol. 13, 4070 – 4084, 2020.
6. Zechao Bai. Could Vegetation Index be Derived from Synthetic Aperture Radar? – The Linear Relationship between Interferometric Coherence and NDVI / Zechao Bai, Shibo Fang, Jian Gao, Yuan Zhang, Guowang Jin, Shuqing Wang, Yongchao Zhu & Jiabin Xu//Scientific Reports – volume 10, Article number: 6749, 2020.
7. Olena Kavats. Flood Monitoring Using Multi-Temporal Synthetic Aperture Radar Images/ Olena Kavats, Volodymyr Hnatushenko, Yuliya Kibukevych, Yurii Kavats//CSIT2019, 046, v3.

Received 29.03.2021.

Accepted 24.04.2021.

Сравнительный анализ показателей NDVI

для разновременных оптических и радарных изображений

В работе проведен сравнительный анализ показателей NDVI для разновременных оптических и радарных изображений со спутников Landsat-8,

Sentinel-1 и Sentinel-2 и определена зависимость состояния озимой пшеницы от количества осадков. Исследования были проведены на участках с озимой пшеницей. В работе было выявлено самую высокую корреляцию между показателями NDVI, полученные с помощью радарного спутника Sentinel-1, и показателями количества осадков. Проведенные исследования показали, что спутниковый мониторинг полей с помощью радарной съемки является более эффективным, чем оптическая съемка.

Comparative analysis of NDVI for optical and radar images

Climate change on the planet, such as abnormal heat, floods, forest and peat fires, dry winds, ice, significantly complicates agriculture and reduces worldwide food safety.. An effective solution is to use of space technologies. It allows to solve important agricultural problems, such as mapping of agricultural lands, determination the condition of soil and plantations at different stages of development, detection in time the processes of potential threat to the crop, forecasting weather conditions, planning agro-technical works and carry out satellite monitoring of agricultural plants.

In modern works several main indicators of vegetation indices (NDVI, LAI, EVI) are studied to assess the condition of plants, the presence of diseases, as well as to predict the yield of crops. Modern researches have confirmed that crop monitoring requires solutions that avoid the effects of cloudiness on time series construction.

In this work we compared the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for different-time optical and radar images from Landsat-8, Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites and determined the dependence of winter wheat on precipitation. The study was carried out on 5 plots with an area of 209 hectares with winter wheat, which are located in the in Dnipropetrovsk region, Ukraine. The time period for satellite monitoring is from August to January 2018.

To assess the condition and health of crops it should be taken into account values of precipitation, air temperature and soil moisture. In this work we found the highest correlation between NDVI values obtained with the radar satellite Sentinel-1 and precipitation values. The coefficient of determination for radar images Sentinel-1 is 25.65%, for optical images - 11.49%. This research shown that satellite crop monitoring with radar imaging is more effective than optical imaging.

Кібукевич Юлія Олегівна – аспірант кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України (м. Дніпро).

Кибукевич Юлия Олеговна – аспирант кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины (г. Днепр).

Kibukevych Iuliia – graduate student of the Department of Information Technologies and Systems of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Л.Г. Ахметшина, С.К. Митрофанов, А.В. Кныш

УЛУЧШЕНИЕ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БАЗИСЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИНГУЛЯРНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Аннотация. Представлены информационные возможности метода обработки полутонных изображений, направленного на повышение чувствительности и достоверности их визуального анализа. Предлагаемый алгоритм основан на процессе многоэтапной обработки, включающей расширение пространства входных признаков – формирование многомерного ансамбля на основе исходных данных с использованием оконного преобразования, сингулярного разложения, синтез и визуализацию новых информативных признаков. Показано, что применение оконной обработки для полутонных изображений позволяет перейти в многомерное пространство и применять методы многомерной обработки, а именно, сингулярное преобразование, на базе которого можно обеспечить повышение контрастности, чувствительности и разрешающей способности визуального анализа. Приведены экспериментальные результаты на примере реальных снимков.

Ключевые слова: полутонные изображения, рентген, контраст, разрешающая способность, синтез характеристик, ортогональные преобразования, сингулярное разложение, визуальный анализ.

Введение. Слабый контраст – распространенный дефект многих изображений, используемых в специализированных компьютерных системах, в частности, медицинских (рентген, МРТ, биоматериалы). Недостаточное качество изображений обусловлено как физическими особенностями используемой аппаратуры (неоднородность фона, нелинейность характеристик передачи уровней серого, шумы различного происхождения), так и процессом их формирования (анатомические особенности пациента, динамические искажения пр.) [1]. В частности, при формировании рентгеновских снимков в результате прохождения лучей через образования разной плотности и состава, пучок излучения рассеивается и тормозится, в связи с чем на плёнке формируется изображение разной степени интенсивности. Улучшение медицинских изображений является важным этапом для получения достоверной диагностики при

анализе как невооруженным взглядом (врачом), так и при применении автоматических систем [2].

Обычно медицинские изображения (МРТ, рентген) являются полутонными, имеющими в качестве исходных данных только один параметр – яркость, значение которой обладает двузначностью серого (в силу дискретизации и квантования) и геометрической нечеткостью – неопределенностью границ между сегментами, областями изменчивости или однородности, краями объектов.

Один из путей решения задачи повышения чувствительности и достоверности выявления диагностических параметров - формирование нового пространства признаков, которые позволяют определить внутреннюю структуру наблюдаемого процесса, в частности, на основе ортогонального преобразования исходных данных. Нетривиальность этого этапа обусловлена как спецификой различных типов изображений, так и разнообразием решаемых задач.

Постановка задачи. Статья посвящена описанию алгоритма формирования и рассмотрению информационных возможностей характеристик, синтезируемых на основе собственных векторов сингулярного разложения, которые обеспечивают повышение чувствительности и разрешающей способности полутонных изображений.

Анализ публикаций. Один из классов методов, обеспечивающих лучшие характеристики разрешения, основан на анализе собственных значений, получаемых в процессе ортогонализации экспериментальных данных, и, как инструмент математической обработки, был представлен в работе [3]. Причины заключаются в разделении сигнала на две составляющие – целевую и шум.

Идея создания метода сингулярного разложения (Singular Value Decomposition - SVD) и, основанного на его применении спектрального анализа (Singular spectrum analysis – SSA), возникла в 60-е 70-е годы и в 2001 году SSA был представлен как универсальный метод для решения задач общего назначения, таких как выделение тренда, обнаружение периодичностей, корректировка на сезонность, сглаживание, подавление шума, а также для спектрального анализа стационарных временных рядов [7- 4]. SSA может быть использован без предварительного задания модели ряда для анализа произвольных, в том числе, нестационарных, рядов. Основная цель SSA - разложить ряд в сумму интерпретируемых компонент, при этом знание параметрической формы этих компонент не требуется.

В задачах обработки изображений, представляющих собой двумерные структуры, такой подход с использованием метода главных компонент (Principal Component Analysis – PCA) получил практическое применение в 2000-х годах [5]. Метод двумерного анализа главных компонент (2D PCA), основан либо на основе преобразования исходного изображения в новое изображение меньшего размера [6], либо на представлении изображений в виде набора строк и столбцов, к которым применяется базовая процедура PCA [7].

В настоящее время PCA, SVD и другие методы ортогонализации используются для решения таких важных задач, как сжатие визуальной информации, выделение признаков при распознавании объектов и поиске видеообразов, сокращение вычислений при обработке изображений и т. д. В задачах обработки ансамбля изображений их использование позволяет уменьшить размерность данных, разделить вклад информативных и шумовых компонент.

В [8, 9] рассмотрены информационные возможности использования метода сингулярного автоморфного отображения (МСАО) применительно к решению задач анализа слабоконтрастных изображений. Данный подход позволяет установить связь между матричным и векторным представлениями двумерного массива, а также обеспечить преобразование двумерного массива (полутонного изображения) в многомерное представление. Показано, что метод повышает достоверность и чувствительность визуального анализа слабоконтрастных изображений.

Основная часть. Суть сингулярного разложения заключается в возможности представления любой матрицы (вещественной или комплексной) в виде произведения трех матриц:

$$A = U \Lambda V^* \quad (1)$$

где столбцы матрицы U порядка m являются собственными векторами матрицы AA^T ; $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_r)$ — матрица размера $m \times n$, на главной диагонали которой лежат неотрицательные числа, называемые сингулярными значениями (элементы вне главной диагонали равны нулю); V^T – в общем случае эрмитово-сопряжённая к V матрица порядка n . столбцы матрицы V являются собственными векторами матрицы ATA . m столбцов матрицы U и n столбцов матрицы V называются соответственно левыми и правыми сингулярными векторами матрицы A . Матрицы U и V являются ортогональными.

Квадрат элементов матрицы Λ можно интерпретировать как дисперсию каждой компоненты, причем в убывающем порядке: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_r \geq \lambda_{r+1} = \dots = \lambda_n = 0$, где r – ранг матрицы A .

Число ненулевых элементов на диагонали матрицы Λ есть фактическая размерность матрицы A . Первые r самых значимых сингулярных чисел называются главными компонентами. Сингулярное разложение позволяет найти ортогональные базисы различных векторных пространств разлагаемой квадратной матрицы.

Для прямоугольных матриц существует так называемое экономное представление сингулярного разложения матрицы

$$A_{(m \times n)} = U_{(m \times m)} \Lambda_{(m \times n)} V_{(n \times n)}^T \quad (2)$$

Согласно этому представлению при $m > n$, диагональная матрица Λ имеет пустые строки, а при $m < n$ – пустые столбцы. Поэтому существует еще одно экономное представление

$$A_{(m \times n)} = U_{(m \times r)} \Lambda_{(r \times r)} V_{(r \times n)}^T \quad (3)$$

в котором $r = \min(m, n)$.

Следовательно, можно сконструировать базисы для различных векторных подпространств, определенных матрицей A . Набор векторов $v_1, \dots, v_k$ в векторном пространстве V формирует базис для V , если любой вектор x из V можно представить в виде линейной комбинации векторов $v_1, \dots, v_k$ единственным способом. Пусть V_0 будет набором тех столбцов v_k , для которых $\lambda_k \neq 0$, а V_1 – все остальные столбцы v_k . Также, пусть U_0 будет набором столбцов u_k , для которых $\lambda_k \neq 0$, а U_1 – все остальные столбцы U , включая и те, для которых $k > n$. Каждый из этих наборов формирует базис векторного пространства матрицы A :

V_0 – ортонормальный базис для ортогонального комплементарного нуль-пространства A ;

V_1 – ортонормальный базис для нуль-пространства A ;

U_0 – ортонормальный базис для собственного пространства A ;

U_1 – ортонормальный базис для ортогонального комплементарного нуль-пространства A .

В работе [8, 9] описан метод МСАО, идея которого заключается в преобразовании полутонного изображения в многомерный ансамбль с последующим применением сингулярного разложения. Автоморфное отображение реализу-

ется путем развертывания пикселей сканирующего окна размером $L \times L$ в вектор. Это позволяет из исходного полутонового двумерного изображения размером $N \times N$ сформировать многомерный ансамбль размером $((N-L+1) \times (N-L+1) \times L^2)$ (рис. 1). Применение процедуры сингулярного разложения к сформированному трехмерному ансамблю позволяет синтезировать ансамбль «собственных изображений» на базе собственных значений матрицы U .

Применение SVD к ансамблю изображений обеспечивает его анализ как единого целого и, в то же время, позволяет интерпретировать каждую новую составляющую как результат анизотропной фильтрации в двумерной плоскости пространственных частот (их Фурье-спектры являются ортонормированными). Результат представляет исходные данные как спектр в собственном базисе с учетом пространственной составляющей, которая учитывается за счет интегральной обработки ближайших соседей в окне преобразования. Каждое из «собственных изображений» содержит $D_i\%$ всей информации, заложенной в исходных данных, определяемой величиной собственных значений матрицы Λ . МСАО позволяет осуществлять адаптивную фильтрацию низкоконтрастных изображений на базе селективного анализа «собственных изображений».

В данной работе рассмотрены информационные возможности новых информационных характеристик, полученных на основе U_0 (ортонормального базиса для собственного пространства A) метода МСАО, использование которых позволяет повысить качество и разрешающую способность рентгеновских изображений.

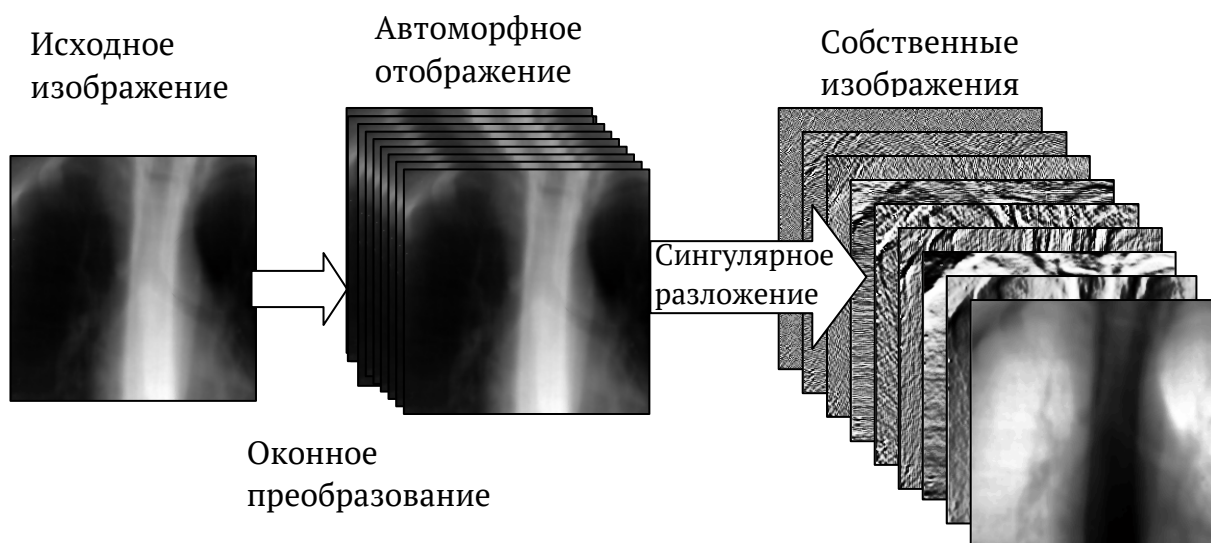


Рисунок 1 - Синтез ансамбля «собственных изображений»

Предложенный алгоритм содержит следующие шаги.

Масштабирование диапазона яркостей исходного полутонового изображения I размером $(N \times M)$ на отрезок $[0,1]$.

Формирование многомерного массива значений яркости $I'(N \times M \times 9)$ - размерность третьей координаты определяется величиной окна преобразования $L \times L$ (в эксперименте $L = 3$).

Формирование прямоугольной матрицы $A(N \times M, 9)$ путем векторизации каждого из 9-ти изображений многомерного ансамбля.

Применение экономного представления метода SVD к массиву A .

Формирование многомерного массива $IS(N \times M \times 9)$ на основе матрицы левых сингулярных векторов U , который интерпретируется как многомерное изображение, с масштабированием на отрезок $[0,1]$.

Итоговое изображение синтезируется с использованием адаптивного контрастирования на основе комбинации первых трех "собственных изображений" IS_1, IS_2, IS_3 с использованием выражений:

$$r_1 = \sqrt{|IS_1^2 - IS_3^2|} \quad (4)$$

$$r_2 = \sqrt{|IS_1^2 + IS_2^2 - IS_3^2|} \quad (5)$$

Экспериментальные результаты. На рис. 2 а представлено исходное изображение и гистограмма рентгеновского снимка, на котором наблюдаются размытые границы объектов интереса, отсутствует детализация их структуры. Результат применения метода эквализации гистограммы, (рис. 2 б) фактически ничего не дает с точки зрения повышения визуальной чувствительности и разрешающей способности при анализе зоны интереса.

В таблице 1 приведены значения нормированного спектра собственных чисел автоморфного отображения анализируемого изображения. Ранг матрицы равен девяти, все «собственные» изображения имеют ненулевое значение, что свидетельствует о том, что оно является достаточно высококачественным с незначительной шумовой компонентой.

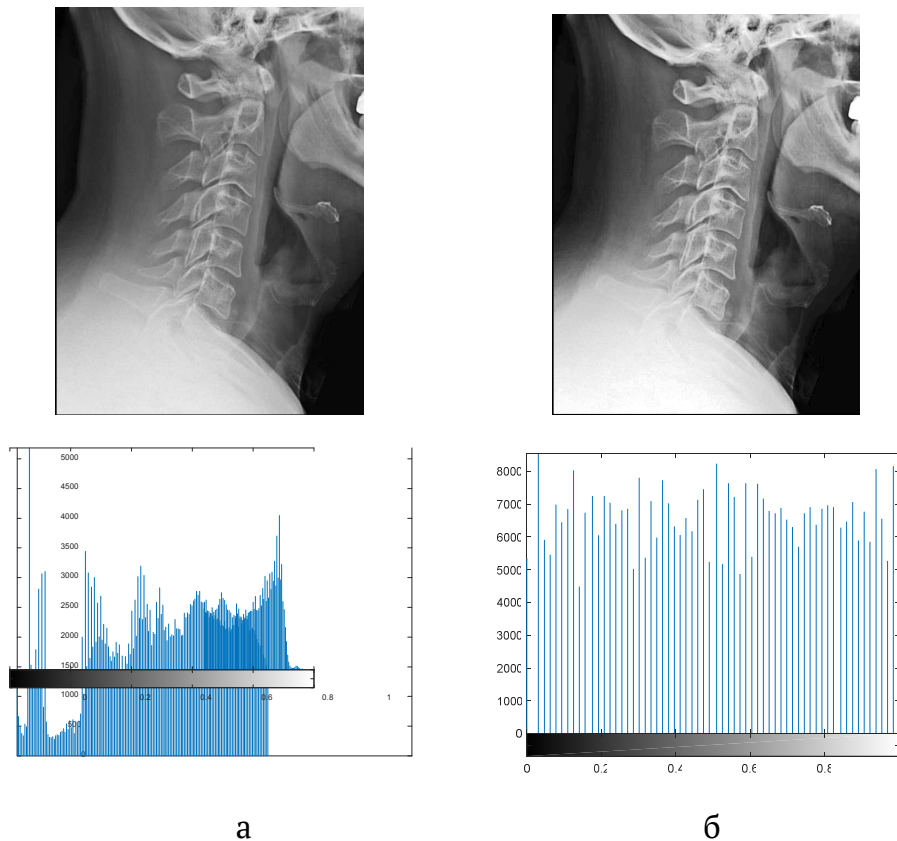


Рисунок 2 - Исходное изображение (а) и результат применения метода эквализации гистограммы (б) с гистограммами

Таблица 1

Спектр нормированных сингулярных чисел автоморфного отображения

n	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	λ_8	λ_9
L=3	91.3800	2.8783	2.1095	1.2921	0.7743	0.6100	0.3638	0.3453	0.2467

Синтезированные характеристики r_1 и r_2 , полученные в результате применения предложенного алгоритма и их гистограммы приведены на рис. 3 а и 3 б, соответственно. Их визуализация позволила повысить качество и разрешающую способность снимков, например, наблюдается усиление контрастности и четкости границ, выделение ранее неразличимых деталей.

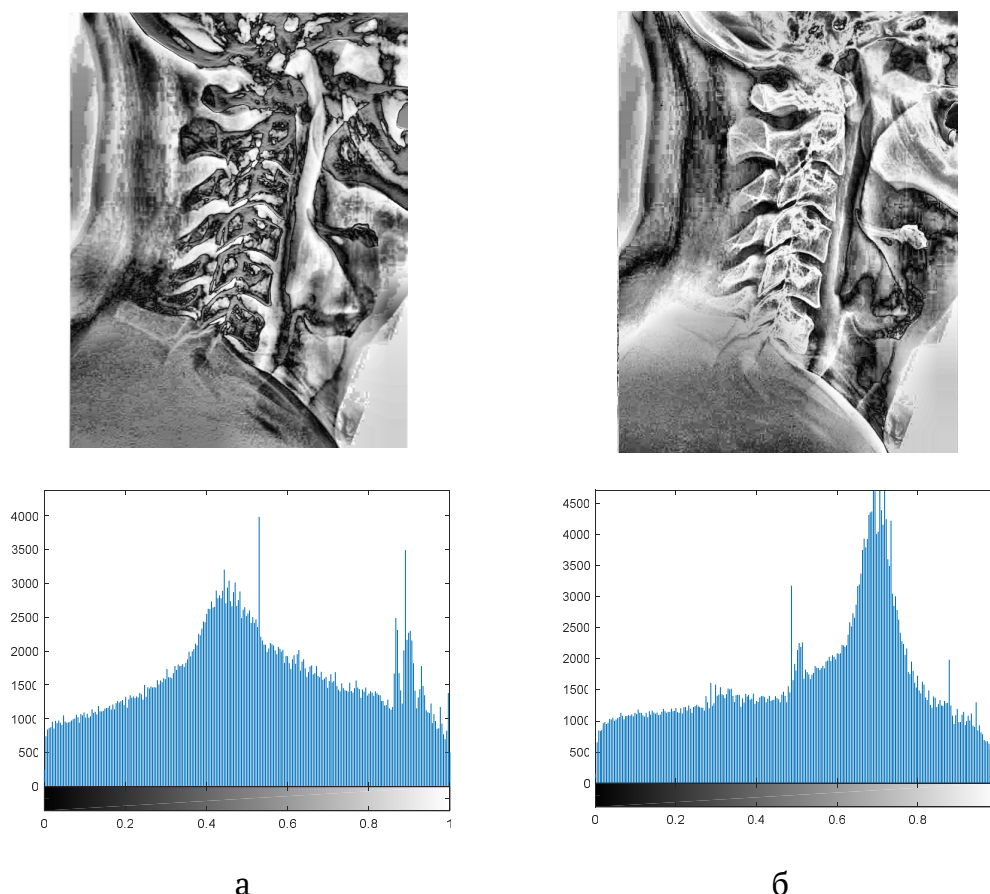


Рисунок 3 - Визуализация синтезированных параметров r_1 (а), r_2 (б) и их гистограммы

Выводы.

- для анализа полутонных изображений с применением сингулярного преобразования необходим этап формирования на основе исходных данных многомерного ансамбля для чего может быть применен метод метода автоморфного отображения;
- предложенные параметры, синтезируемые на базе собственных изображений, позволяют обеспечить повышение контрастности и разрешающей способности рентгеновских изображений для повышения достоверности визуального и автоматизированного анализа;
- возможен синтез иных параметров на базе комбинации собственных значений сингулярного разложения, диагностическая значимость получаемых характеристик определяется особенностями исходных данных и целью анализа.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. An analysis of x-ray image enhancement methods for vertebral bone segmentation IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing & its

- Applications (CSPA2014) (7 - 9 Mac. 2014, Kuala Lumpur, Malaysia). 2014. P. 208-211.
2. M. S. V Sokashe, "Computer assisted method for cervical vertebrae segmentation from x-ray images," Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 2, no. 11, 2013, pp. 4387-4389.
3. Pearson, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space / K. Pearson // The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Sciences. – 1901. – Vol. 6, Issue 2. – P. 559-572.
4. Elsner J.B. Singular Spectrum Analysis. A New Tool in Time Series Analysis / J.B. Elsner, A.A. Tsonis. – N.Y.: Plenum Press, 1996. – 164 P.
5. Hotelling, H. Analysis of complex variables into principal components / H. Hotelling // Journal of Educational Psychology. – 1933. – Vol. 24, Issue 6. – P. 417-441.
6. Turk. M. Eigenfaces for Face Detection/Recognition / M. Turk and A. Pentland // J. Cogn. Neurosci. – 1991. – Vol. 3, No. 1. – P. 71-86.
7. Yang, J. Two-dimensional PCA: A new approach to appearance-based face representation and recognition / J. Yang, D. Zhang, A.F. Frangi, J.-Y. Yang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2004. – Vol. 26, Issue 1. – P. 131-137.
8. Ахметшина Л.Г. Повышение чувствительности анализа рентгеновских снимков методом автоморфного отображения в базисе собственных изображений / Ахметшин А.М., Ахметшина Л.Г. // Клиническая информатика и телемедицина. – 2008. – Т. 4, – No 5. – С. 30-36.
9. Ахметшина Л.Г. Адаптивная фильтрация шумов в сигналах и изображениях: метод селективного сингулярного разложения автоморфного отображения. «Искусственный интеллект» ІПШО МОН і НАН України "Наука і освіта. –2005. №3, –С. 328-325.

REFERENCES

1. An analysis of x-ray image enhancement methods for vertebral bone segmentation IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing & its Applications (CSPA2014) (7 - 9 Mac. 2014, Kuala Lumpur, Malaysia). 2014. P. 208-211.
2. M. S. V Sokashe, "Computer assisted method for cervical vertebrae segmentation from x-ray images," Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 2, no. 11, 2013, pp. 4387-4389.

3. Pearson, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space / K. Pearson // The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Sciences. – 1901. – Vol. 6, Issue 2. – P. 559-572.
4. Elsner J.B. Singular Spectrum Analysis. A New Tool in Time Series Analysis / J.B. Elsner, A.A. Tsonis. – N.Y.: Plenum Press, 1996. – 164 P.
5. Hotelling, H. Analysis of complex variables into principal components / H. Hotelling // Journal of Educational Psychology. – 1933. – Vol. 24, Issue 6. – P. 417-441.
6. Turk. M. Eigenfaces for Face Detection/Recognition / M. Turk and A. Pentland // J. Cogn. Neurosci. – 1991. – Vol. 3, No. 1. – P. 71–86.
7. Yang, J. Two-dimensional PCA: A new approach to appearance-based face representation and recognition / J. Yang, D. Zhang, A.F. Frangi, J.-Y. Yang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2004. – Vol. 26, Issue 1. – P. 131-137.
8. Akhmetshina L.G. Povysheniye chuvstvitel'nosti analiza rentgenovskikh snimkov metodom avtomorfnogo otobrazheniya v bazise sobstvennykh izobrazheniy / Akhmetshin A.M., Akhmetshina L.G. // Klinicheskaya informatika i telemeditsina. – 2008. – T. 4, – № 5. – S. 30-36.
9. Akhmetshina L.G. Adaptivnaya fil'tratsiya shumov v signalakh i izobrazheniya: metod selektivnogo singulyarnogo razlozheniya avtomorfnogo otobrazheniya. «Iskusstvennyy intellekt» ÍPSHO MON i NAN Ukraïni «Nauka í osvita. 2005. №3, S. 328-325.

Received 22.04.2021.
Accepted 29.04.2021.

Улучшение полутоновых изображений в базе характеристик сингулярного разложения

Представлены информационные возможности метода обработки полутоновых изображений, направленного на повышение чувствительности и достоверности их визуального анализа. Предлагаемый алгоритм основан на процессе многоэтапной обработки, включающей расширение пространства входных признаков – формирование многомерного ансамбля на основе исходных данных с использованием оконного преобразования, сингулярного разложения, синтез и визуализацию новых информативных признаков. Показано, что применение оконной обработки для полутоновых изображений позволяет перейти в многомерное пространство и применять методы многомерной обработки, а именно, сингулярное преобразование, на базе которого можно обеспечить повышение контрастности, чувствительности и разрешающей способности визуального анализа. Приведены экспериментальные результаты на примере реальных снимков.

Improvement of grayscale images of the basis of singular decomposition characteristics

The informational capabilities of the method for processing grayscale images aimed at increasing the sensitivity and reliability of their visual analysis are presented. Insufficient image quality is due to both the physical characteristics of the equipment used (background

heterogeneity, nonlinearity of transmission characteristics of gray levels, noises of various origins), and the process of their formation (anatomical features of the patient, dynamic distortions, etc.). Improving medical images is an important step in obtaining reliable diagnostics when analyzing both with the naked eye (by a doctor) and when using automatic systems. One of the ways to solve the problem of increasing the sensitivity and reliability of identifying diagnostic parameters is the formation of a new space of features that allow us to determine the internal structure of the observed process, in particular, on the basis of orthogonal transformation of the initial data. The nontriviality of this stage is due to both the specificity of various types of images and the variety of tasks to be solved. The proposed algorithm is based on the process of multi-stage processing, including the expansion of the space of input features - the formation of a multidimensional ensemble based on the initial data using a window transformation, singular value decomposition, synthesis and visualization of new informative features. It is shown that the use of window processing for grayscale images allows to go to a multidimensional space and apply multidimensional processing methods, namely, a singular transformation, on the basis of which it is possible to increase the contrast, sensitivity and resolution of visual analysis. The information capabilities of new information characteristics obtained on the basis of the method of singular automorphic mapping (MSAO), which provides the formation of a multidimensional ensemble of images based on the initial data, its analysis as a whole, and anisotropic filtering in the two-dimensional plane of spatial frequencies, are considered. Experimental results are presented using real medical images as an example.

Ахметшина Людмила Георгиевна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электронных вычислительных машин, Днепровский национальный университет им. О. Гончара.

Кныш Александр Владимирович – PhD по специальности компьютерная инженерия, Днепровский национальный университет им. О. Гончара.

Митрофанов Станислав Константинович - PhD по специальности компьютерная инженерия, Днепровский национальный университет им. О. Гончара.

Ахметшина Людмила Георгіївна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Книш Олександр Володимирович - PhD за спеціальністю комп'ютерна інженерія, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Митрофанов Станіслав Костянтинович – PhD за спеціальністю комп'ютерна інженерія, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Akhmetshina Ludmila - Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the department of electronic computers, Oles Honchar Dnipro National University.

Knysh Alexandr - Master of Science in Computer Engineering, Oles Honchar Dnipro National University.

Mitrofanov Stanislav - Master of Science in Computer Engineering, Oles Honchar Dnipro National University.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВИМИ МЕТАЛУРГІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Анотація. Показані особливості використання нейрорегуляторів для управління тепловими металургійними процесами. Запропоновано спосіб інтенсифікації алгоритму навчання нейронної мережі.

Ключові слова: металургійні печі, управління нагрівачем, навчання нейромережі.

Постановка проблеми

Сучасні нейронні мережі (НМ) широко використовуються для керування технологічними процесами. При цьому навчальні зразки є статичними, а повільна збіжність навчання НМ істотно стримує застосування НМ для задач автоматичного управління. Вдосконалення алгоритмів навчання НМ необхідно передусім для забезпечення ефективної роботи нейроконтролера в реальному масштабі часу. Але в металургійних теплотехнічних агрегатах (нагрівальні, сталеплавильні, мартенівські, конверторні печі тощо) протікають тривалі перехідні процеси, що робить такі агрегати перспективними для впровадження методів нейроуправління.

Мета роботи

Метою роботи є вдосконалення процесу навчання нейронної мережі нейрорегуляторів, що використовуються для управління тепловими процесами в металургії.

Результати досліджень

Запропоновано [2, 3] декілька методів, що прискорюють збіжність навчання НМ при використанні нейроконтролерів в технологічному управлінні.

Алгоритм, пропонується [1] для прискорення процесу навчання, ґрунтується на відмінності понять дискретизації процесу управління і частоти виконання навчальних ітерацій (частоти навчання).

Частота дискретизації встановлюється зазвичай відповідно до теореми Котельникова, згідно з якою вона повинна як мінімум в два рази перевищувати максимальну частоту процесу. При цьому частоту коригувань адаптивних

елементів можна прийняти один раз за кожен період дискретизації, тобто частота дискретизації і адаптації збігаються.

У багатьох практичних випадках перевищення деякого значення частоти дискретизації неприпустимо або небажано. У металургії теплофізичні процеси мають відносно велику інерцію, а високі частоти дискретизації ведуть до надмірності інформації та підвищенню вартості систем. Також збільшення частоти дискретизації може привести до прояву в системі небажаних перехідних процесів.

Пропонована ідея [1] прискорення навчання нейроконтролера полягає в тому, щоб використовуючи затримані сигнали попередніх циклів за період дискретизації провести декілька навчальних ітерацій. При навчанні мінімізується функція помилки:

$$E(t) = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=0}^{n-1} \lambda_i (y(t-i) - y_i(t-i)) \right]^2, i=0, n-1,$$

де: $y(t)$ - поточний вихідний сигнал;

$y_i(t)$ - значення вихідного сигналу на i -ій ітерації;

n - число ітерацій;

$\lambda_i > \lambda_{i+1}$ - незростаюча позитивна послідовність.

Дослідження проводилися на інверсно-динамічній схемі нейронного управління з нейроконтролером і емулятором.

Характеристики пропонованої системи управління і методів навчання оцінювалися [1] на результатах моделювання нагрівальної печі.

Використовувалася система управління температурою нагрівальної печі [4], що описується диференціальним рівнянням

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{f(t)}{C} + \frac{c_0 T_c^o - y(t)}{RC}, \quad (1)$$

де: $y(t)$ - вихідна температура;

$f(t)$ - кількість тепла від нагрівальних елементів;

T_c^o - температура навколишнього середовища;

C - теплоємність печі;

R - тепловий опір кладки і футеровки печі.

При постійних C і R була отримана імпульсна перехідна функція системи, заданої рівнянням (1). Вона має вигляд:

$$y(t+l) = \alpha(\tau)y(t) + B(\tau)U(t),$$

де: t - дискретний цілочисельний час;

l - інтервал квантування;

$U(t)$ - вхідний вплив на об'єкт;

$y(t)$ - вихід об'єкту;

$$\alpha(\tau) = e^{-\alpha\tau}, \quad B(\tau) = \frac{\beta}{\alpha}(1 - e^{-\alpha\tau})$$

α і β - константи, що характеризують R і C .

При моделюванні в системі було задано насичення характеристики, щоб виключити перевищення значення вихідної температури в 1600°C .

Моделюваний об'єкт описувався наступним рівнянням:

$$y(t+l) = \alpha(\tau)y(t) + \frac{B(\tau)}{1 + e^{0.5y(t)-\gamma}}U(t) + [1 - \alpha(\tau)]T_c^o$$

Параметри

$$\alpha = 1.21 \cdot 10^{-4}, \quad \beta = 7.64 \cdot 10^{-3}, \quad \gamma = 60, \quad T_c^o = 20^\circ \text{C}$$

були отримані [1] при інверсному моделюванні мережі.

Використовувалися тришарові повнозв'язні НМ з одним вихідним нейроном, з числом вхідних нейронів відповідно кількості ітерацій за період. Число нейронів прихованого шару варіювалося від 8 до 20. Для нейроконтролера і прихованого шару нейромодулятора використовувалась сигмоїдна функція активації, а у вхідному і вихідному шарі нейромодулятора - пропорційна функція $f(x)=x$.

Навчання мереж проводилося за відомим правилом з зворотним поширенням помилки $\Delta W(t) = W(t+l) - W(t)$:

$$\Delta W(t) = -h \frac{\partial E}{\partial W(t)} + \alpha \Delta W(t-l),$$

де: t - номер ітерації навчання;

W - вага зв'язку;

E - функція помилки (підлягає мінімізації);

$h > 0$ - швидкість навчання ($h=0.01$);

$\alpha \geq 0$ - миттєва складова, яка визначає осциляцію процесу ($\alpha = 0.8$);

Початкове значення ваг нейроконтролера встановлювалося випадковим чином.

Метою регулювання було підтримання температури 80°C для часового інтервалу $0 \leq t \leq 80 \text{ хв.}$, 120°C для інтервалу $80 \text{ хв.} < t \leq 160 \text{ хв.}$ і 160°C для інтервалу $t > 160 \text{ хв.}$ Кожен цикл імітації вважався пробою. Після кожної проби ваги фіксувалися і робилася нова проба.

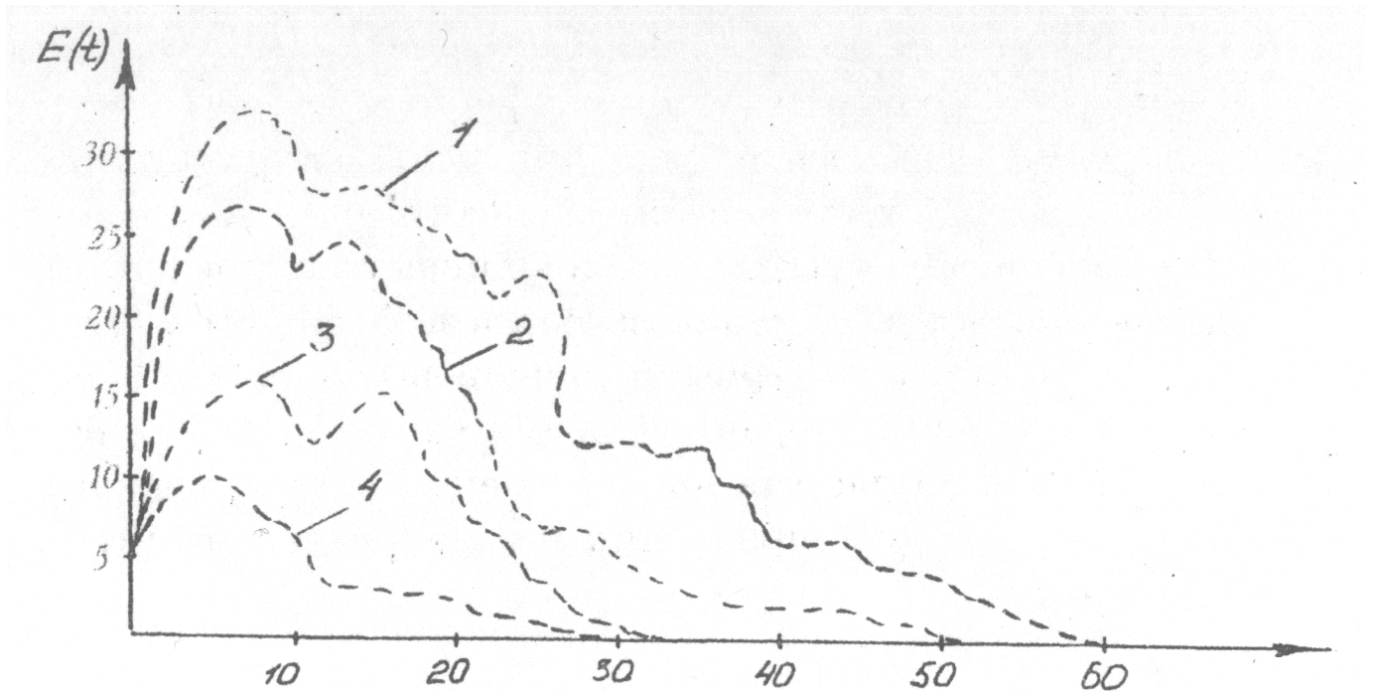


Рисунок 1 - Залежність помилки навчання НМ, що виконує навчальну ітерацію від кількості проб при різних періодах дискретизації
 T (1- $T=30\text{с}$, 2- $T=20\text{с}$, 3- $T=10\text{с}$, 4- $T=5\text{с}$)

На рис. 1 зображено залежності швидкості навчання НМ від частоти дискретизації. Видно, що спостерігається очікуване прискорення навчання при збільшенні частоти дискретизації. При досягненні швидкості $T = 10\text{с}$ і $T = 5\text{с}$ швидкість навчання практично не змінюється при помітному зменшенні середньоквадратичної помилки.

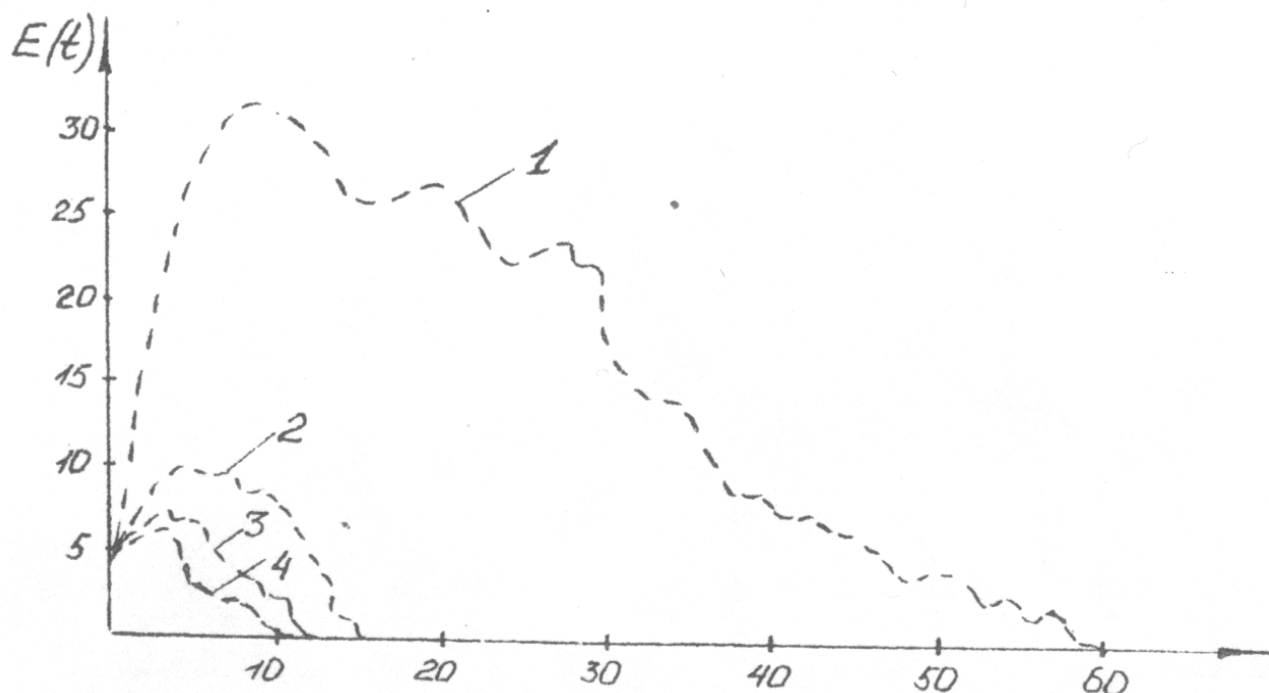


Рисунок 2 - Залежність швидкості збіжності навчання НМ при періоду дискретизації $T=30\text{с}$ від кількості проб (1- 1 навчальна ітерація, 2- 5 навчальних ітерацій, 3- 10 навчальних ітерацій, 4- 15 навчальних ітерацій)

На рис. 2 зображено залежність швидкості збіжності навчання НМ і величини середньоквадратичної помилки в залежності від кількості ітерацій.

З рис.1 і рис.2 видно, що виконання декількох ітерацій навчання за період дискретизації знижує помилку і істотно покращує збіжність навчання НМ. Час навчання в першому наближенні є пропорційним кількості навчаючих ітерацій. Ця кількість істотно залежить від кількості нейронів в прихованому шарі і кількості ваг в них. У наведених випробуваннях використовувалося до 20 прихованих нейронів і до 80 ваг (збільшення не поліпшило помітно характеристики). При десяти навчальних ітераціях час збіжності не перевищує 400 мс. Така частота дискретизації і тривалість навчання прийнятні для управління металургійними тепловими агрегатами.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТРАТУРА

1. Еременко Ю.И., Боева Л.М., Кузнецов Л.А., Крахт В.Б. Повышение АСУ горно-металлургического производства на основе интеллектуализации управления: Монография. – Старый Оскол: ООО “ТНТ”, 2005.
2. Hopfield J.J., Neural networks and physical systems with emergent computational abilities, Proc of the National Academy of Sciences, vol.79. - pp.2554-2558, 1992.

3. Tanomaru J and S. Omatu Process control by on-line trained neural controllers. IEEE Trans on Industrial Electronics, Vol.39. - pp. 511-521., 1992.
4. Глинков Г.М., Малковский В.А., АСУ ТП в черной металлургии.— М.: Металлургия, 1999. - 312 с.

REFERENCES

1. Eremenko Yu.Y., Boeva L.M., Kuznetsov L.A., Krakht V.B. Povyshenye ASU hornometallurhicheskogo proizvodstva na osnove yntellektualyzatsyy upravleniya: Monohrafiya. – Starýi Oskol: OOO “TNT”, 2005.
2. Hopfield J.J., Neural networks and physical systems with emergent computational abilities, Proc of the National Academy of Sciences, vol.79. - pp.2554-2558, 1992.
3. Tanomaru J and S. Omatu Process control by on-line trained neural controllers. IEEE Trans on Industrial Electronics, Vol.39. - pp. 511-521., 1992.
4. Hlynkov H.M., Malkovskyi V.A., ASU TP v chernoi metallurhiy.— М.: Metallurhiya, 1999. - 312 с.

Received 21.03.2021.

Accepted 26.03.2021.

Особливості використання нейрорегулятора для управління тепловими металургійними процесами

Аналіз стану і тенденцій розвитку управління в металургії показує, що подальше вдосконалення систем управління (СУ) на основі класичного підходу вимагає підвищення адекватності математичних моделей процесу, що нашоується на труднощі, наступні з обмеженою можливістю пізнання фізико-математичних процесів і багатьох випадкових факторів, що впливають на їх розвиток. У цих умовах методи інтелектуального управління (нечітке управління, нейроуправління, використання експертних систем) дозволяють вирішувати широкий клас задач керування об'єктами і процесами гірничо-металургійного виробництва, що важко формалізуються. Досить ефективним виявляється раціональне поєднання різних методів інтелектуального управління.

В результаті досліджень, виконаних на моделях теплових агрегатів гірничо-металургійного виробництва встановлена можливість і ефективність застосування для них нечіткого керування, що забезпечує подальше підвищення продуктивності агрегатів та якості продукції.

Features of using neuroregulator to control thermal metallurgical processes

Analysis of the state and trends of management development in metallurgy shows that further improvement of control systems (BC) based on the classical approach requires an increase in the adequacy of mathematical models of the process, which encounters difficulties that follow with the limited ability to know physical and mathematical processes and many random factors that affect their development. Under these conditions, intelligent control

methods (fuzzy control, neuromanagement, the use of expert systems) allow solving a wide class of object management tasks and difficult-to-formalize mining and metallurgical production processes. A rational combination of different methods of intellectual management is quite effective.

As a result of studies carried out on models of thermal units of mining and metallurgical production, the possibility and efficiency of using fuzzy control for them was established, which ensures a further increase in the productivity of units and product quality.

Безуб Володимир Миколайович - ст.викладач кафедри Інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Безуб Владимир Николаевич – ст. преподаватель кафедры Информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Bezub Vladimir - The National Metallurgical Academy of Ukraine.

В.З. Куцова, В.Г. Іванченко, Т.В. Котова, М.А. Ковзель

ВПЛИВ ДРЕСУВАННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ ДЛЯ ХОЛОДНОЇ ШТАМПОВКИ

Анотація. Досліджено вплив дресування на структуру і властивості гарячекатаних сталевих штаб та листів, які призначені для холодної штамповки. Отримані дані можуть бути використані при визначенні параметрів дресування для забезпечення формування структури і рівня властивостей металу згідно з вимогами ГОСТ 4041–2017. Розробка оптимальної технології дресування дозволить знизити несприятливий вплив процесу старіння та отримати якісну листову сталь для холодної штамповки.

Ключові слова: дресування, гаряча прокатка, розмір зерна, механічні властивості, холодна штамповка, відпал, старіння

Постановка проблеми. В дійсний час одним з головних напрямів розвитку чорної металургії є покращення якості і розширення сортаменту ефективних видів металопрокату, зокрема, гарячекатаного конструкційного листа. Для переробки металопрокату у багатьох галузях промисловості використовуються прогресивні, високопотужні технології, якою, наприклад, є холодна листова штамповка.

Вимоги споживачів до якості гарячекатаного листового прокату і, в першу чергу, до характеристик, які впливають на техніко-економічні показники використання металу у виробництві і його служби в готових виробах, безперервно зростають. Споживач зацікавлений отримати порівняно недорогий гарячекатаний листовий прокат для холодної штамповки, що характеризується високим рівнем службових властивостей. В зв'язку з цим металурги розробляють та освоюють нові більш ефективні технології виробництва гарячекатаного листа. На багатьох металургійних комбінатах досягнутий рівень технології, що дозволяє випускати гарячекатаний тонколистовий прокат, з показниками якості, які відповідають вимогам стандартів до холоднокатаного листа. Цьому в значній мірі сприяє застосування дресування на заключній стадії обробки гарячекатаних штаб і листів. Це дозволило споживачам металопрокату із значним економічним ефектом замість дорогокоштуючого холоднокатаного листо-

вого прокату використовувати порівняно недорогий гарячекатаний. Виробники при виготовленні і поставках гарячекатаного листового прокату замість холоднокатаного також отримують економію за рахунок зниження витрат на додаткові операції – холодну прокатку та відпал.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дресування чи холодна прокатка з малими обтіскуваннями (0,5-6,0%) є кінцевою операцією технологічного процесу виробництва листової сталі, яка впливає на якість поверхні, властивості і штампованість листів. У деяких випадках на дресувальних станах здійснюють докатування товстих листів до заданої товщини. Крім того, при дресуванні гарячекатані листи піддають наклепу для підвищення їх міцності (для виготовлення деяких деталей автомобіля). Застосування малих обтіскувань дозволяє здійснити наклеп поверхневого шару металу і зберігти недеформованими внутрішні шари, в результаті чого вдається запобігти утворенню ліній зсуву при штампуванні і забезпечити оптимальне поєднання механічних характеристик листів. Інколи дресування використовується для розпушування окалини на поверхні штаб і листів перед їх травленням [1-3].

Згідно з ГОСТ 4041-2017 «Прокат толстолистовой горячекатаный для холодной штамповки из нелегированной конструкционной качественной стали», толстолистовий прокат товщиною 4,0-6,0 мм допускається виготовляти у дресованому вигляді. В ДСТУ 2834-94 «Прокат тонколистовий із вуглецевої сталі якісної та звичайної якості загального призначення» виготовлення гарячекатаного тонколистового дресованого прокату не передбачено.

Гарячекатані штаби можуть піддаватись дресуванню на різних стадіях обробки металу:

- 1) в головній частині безперервно-травильного агрегату (БТА), перед травильними ваннами;
- 2) в хвостовій частині БТА, після ванн холодної і гарячої промивки і сушильних пристроях;
- 3) в агрегатах поперечного (АПР), уздовжнього і комбінованого різання, а також в лінії перемотки;
- 4) на окремо розташованих дресувальних станах, де відбувається дресування нетравленого, травленого, а також термообробленого металу;
- 5) в хвостовій частині агрегатів безперервного відпалу (АБВ).

АБВ призначені для термообробки холоднокатаних штаб, але в деяких випадках вони використовуються і для обробки гарячекатаних. Для дресування

гарячекатаних штаб і листів використовуються одноклітьові стани дуо або кварто.

Мета досліджень. Метою даної роботи є дослідження впливу дресування на структуру і властивості гарячекатаних штаб та листів, які призначені для холодної штамповки.

Викладення основного матеріалу дослідження. В технологічному процесі виробництва металопродукції дресування визначає якість готових штаб і листів, у тому числі здатність їх до глибокої витяжки при штампуванні без руйнування чи утворення ліній зсуву. Дресування гарячекатаних штаб в БТА разом з іншими технологічними операціями у вузлах та механізмах травильного агрегату впливає на кінцеві механічні властивості металу.

Як правило, механічні властивості гарячекатаних штаб, які поступають для травлення в БТА з безперервних широкоштабових станів (БШС), відповідають вимогам стандартів на готову продукцію: ДСТУ 2834-94 для тонколистового прокату товщиною до 3,9 мм і ГОСТ 4041-2017 для товстолистого товщиною 4-6 мм. Але після травлення в БТА властивості гарячекатаного металу (особливо із схильних до старіння киплячих сталей) помітно погіршуються: показники пластичності (σ_T , δ_4 , δ_{10}) знижуються, а міцнісні характеристики (σ_B , HRB) підвищуються. Змінення механічних властивостей гарячекатаного листового прокату із киплячих сталей 08кп, 20кп після кожної з технологічних операцій наведено в таблиці 1.

Відомо [4], що нагрів передчасно деформованої в холодному стані листової сталі сприяє інтенсивному протіканню процесів старіння (так зване деформаційне старіння). При обробленні металу в БТА технологічні операції розташовані в такій послідовності, що перед зануренням в травильні ванни штаби наклепуються та піддаються в різних механізмах (розмотувачі, окалиноламати, дресирувальні кліті, роликотравильні машини та ін.) багаточисленним деформаціям вигину, розтягнення та стискування. Залишкова деформація штаб після проходження БТА складає 3-4 % для тонколистового прокату товщиною $\geq 3,9$ мм і 5-6 % для товстолистого товщиною 4-6 мм.

Наклепані штаби, проходячи через гарячий травильний розчин, температура якого, наприклад, для сірчано-кислотного травлення складає біля 90°C, а потім ванни гарячої промивки, де промивка здійснюється водою (температура біля 90°C), нагріваються. Підвищена температура металу в поєднанні з попередньою деформацією сприяє інтенсивному протіканню процесу старіння металу. Старіння металу продовжується в сушильному пристрої БТА, де сушка штаб

здійснюється гарячим повітрям, температура якого складає 90°C. Після нагріву штаба протягується через хвостову частину БТА і гарячою змотується в рулон масою 21 т (рисунок 1). Температура змотаного після БТА рулону складає 80-90°C, підвищена температура зберігається тривалий час, протягом якого процес старіння продовжується [5].

Таблиця 1

Змінення механічних властивостей гарячекатаного листового прокату із киячих сталей після кожної з технологічних операцій

Марка сталі	Стандарт, категорія, група міцності	Товщина, мм	Механічні властивості	БШС	БТА	АПР	Вимоги стандартів
08кп	ДСТУ 2834-94, кат. 5, К260В	2,0	σ_B , МПа	330	370	380	260-380
			δ_4 , %	31	27	26	≥ 25
		2,5-3,9	σ_B , МПа	320	370	380	260-380
			δ_4 , %	34	30	29	≥ 28
	ГОСТ 4041-2017, кат.2	4,0-6,0	σ_B , МПа	310	380	390	270-370
			δ_{10} , %	35	29	28	≥ 30
			HRB	51	60	62	≤ 55
20кп	ДСТУ 2834-94, кат. 5, К330В	2,0	σ_B , МПа	380	430	440	330-460
			δ_4 , %	29	24	22	≥ 23
		2,5-3,9	σ_B , МПа	360	410	420	330-460
			δ_4 , %	31	26	23	≥ 24
	ГОСТ 4041-2017, кат.2	4,0-6,0	σ_B , МПа	360	430	440	340-490
			δ_{10} , %	28	24	22	≥ 24
			HRB	60	71	73	≤ 71

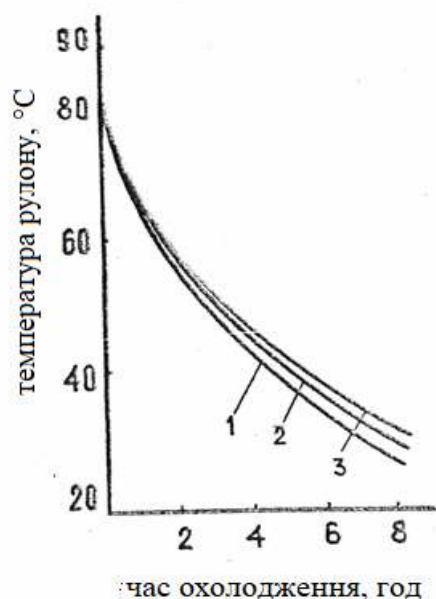


Рисунок 1 –Тривалість охолодження рулонів після обробки в БТА:
розміри штаб (1 – 4×250 мм; 2 – 4×1420 мм; 3 – 4×1530 мм)

У гарячекатаних штабах із стабілізованих алюмінієм сталей 08ЮА, 20ЮА після обробки в БТА також спостерігається деяке зниження пластичності (таблиця 2). Погіршення механічних властивостей прокату відбувається, в основному, за рахунок наклепу, якому піддаються штаби в багаточисленних вузлах і механізмах оздоблювальних агрегатів БТА і АПР [6].

Таблица 2

Механічні властивості гарячекатаного товстолистого прокату із сталей 08ЮА, 20ЮА після кожної з технологічних операцій

Марка сталі	Механічні властивості*	БШС	БТА	АПР	Вимоги ГОСТ 4041-2017, категорія 2
08ЮА	σ_T , МПа	215	245	255	Н.р.
	σ_B , МПа	340	350	350	270-360
	δ_{10} , %	36	34	34	≥ 32
	HRB	51	54	55	≤ 65
20ЮА	σ_T , МПа	255	275	275	Н.р.
	σ_B , МПа	370	390	390	340-490
	δ_{10} , %	33	31	31	≥ 24
	HRB	56	60	61	≤ 71

* Значення механічних властивостей є середніми для товщин 4, 5, 6 мм;

Н.р. – показник властивостей стандартом не регламентується

Вплив ступеню деформації при дресуванні на механічні властивості гарячекатаного металу досліджували на дресувальній кліті кварто, розташованій в головній частині БТА. Вихідною заготовкою для досліджень служили прокатані на БШС штаби товщиною 5,0 мм із сталі марки 08кп однієї плавки. Перед обробкою в БТА визначали механічні властивості вихідних штаб. Дресування здійснювали із ступенем деформації від 0 до 8 %.

Встановлено, що механічні властивості гарячекатаної товстолистової сталі марки 08кп після обробки в БТА та без обтискування в дресувальній кліті погіршуються. Зі збільшенням обтискування при дресуванні в лінії БТА пластичність гарячекатаного травленого металу із киплячої сталі знижується. Однак, за допомогою оптимально підібраної технології обробки гарячекатаної товстолистової сталі в БТА можна мінімізувати погіршення механічних властивостей та знизити несприятливий вплив процесу старіння (обтискування в дресувальній кліті не повинно перевищувати 0,5% для киплячих сталей та 1% для сталей, стабілізованих алюмінієм). Також на властивості дресованої штаби впливає температура рулону, тому на дресувальний стан рулони необхідно подавати тільки після охолодження. Це вимагає встановлення в хвостовій частині БТА, крім дресувальної кліті, спеціального пристрою для примусового охолодження металу [7].

В залежності від ступеню обтискування при дресуванні можливо усунути чи зменшити площадку текучості на кривій розтягнення, тому важливою є мінімальна границя допустимих обтискувань, нижче якої на кривій розтягнення зберігається площадка текучості. Однак, чим більше діаметр валка, тим більше обтискування необхідно для усунення площадки текучості. При виборі параметрів дресування враховують склад сталі, стан поверхні прокатних валків, швидкість дресування, температуру штаби та ін. фактори [2].

Для отримання більш повної інформації стосовно пластичних властивостей гарячекатаного дресованого, травленого в рулонах листового прокату із киплячої і стабілізованої алюмінієм сталей, крім стандартних характеристик, визначали коефіцієнт нерівномірної пластичної деформації (A). Значна неоднорідність механічних властивостей гарячекатаної сталі викликає необхідність у визначенні нерівномірності пластичної деформації при статичному контролі її якості і оцінюванні штампованості. Чим нижче коефіцієнт A , тем краще штампується сталь.

Показники механічних властивостей гарячекатаного металу визначали на зразках, які вирізані із штаб товщиною 6,0 мм під різними кутами до напрямку прокатки: 0°, 45°, 90°.

Механічні властивості гарячекатаного дресованого, травленого в рулонах листового прокату товщиною 6,0 мм із стабілізованих алюмінієм і киплячих сталей наведено в таблиці 2. Аналіз даних таблиці 2 показав, що у стабілізованій алюмінієм сталі нерівномірність пластичної деформації нижче, ніж у киплячій. Крім цього, розкислена алюмінієм сталь в зрівнянні з киплячою характеризується більш сприятливим для штамповки відношенням σ_T / σ_B .

Мікрофрактографічний аналіз [8] також підтверджує кращий рівень в'язкості дресованих листових стабілізованих алюмінієм сталей 08ЮА, 20ЮА. "В'язкий" і "змішаний" вид зламу спостерігається у сталі з алюмінієм на 80-85% розглянутих ділянок, а у сталі киплячої – тільки на 35-45 % ділянок. Залишившийся вид руйнування – крихкий.

Таким чином, характер зламів гарячекатаних листових стабілізованих алюмінієм сталей є гарантом службової надійності при експлуатації виготовлених з них деталей.

В процесі випробувань зразків гарячекатаних стабілізованих алюмінієм і киплячих сталей встановлена залежність між коефіцієнтом нерівномірної пластичної деформації A і видом зламу.

Таблиця 3

Механічні властивості гарячекатаного дресированого,
травленого в рулонах листового прокату товщиною 6,0 мм
із киплячих та стабілізованих алюмінієм сталей

Марка сталі	α^*	Механічні властивості				
	градус	σ_T	σ_B	σ_T / σ_B	δ_{10}	A
		МПа			%	
08ЮА	0	225	360	0,62	35	5,0
	90	245	360	0,68	34	8,0
	45	235	370	0,63	35	4,5
08кп	0	255	340	0,74	29	18,0
	90	275	340	0,80	27	18,0
	45	265	340	0,77	28	18,0
20ЮА	0	295	420	0,70	27	6,0
	90	315	430	0,73	25	8,0
	45	305	430	0,70	27	5,0
20кп	0	315	390	0,80	29	15,0
	90	335	390	0,85	27	15,0
	45	325	390	0,82	27	15,0

* α – кут вирізання зразків для випробувань до напрямку прокатки

Чим менше значення A (таблиця 2), тим більш однорідною є поверхня зламу, що характерно для стабілізованих алюмінієм сталей (рис. 2, а). У зразків з киплячих сталей із значною нерівномірністю деформації ($A \geq 18$) поверхня зламу має шаруватий вигляд з виступами та глибокими канавками (рис. 2, б).

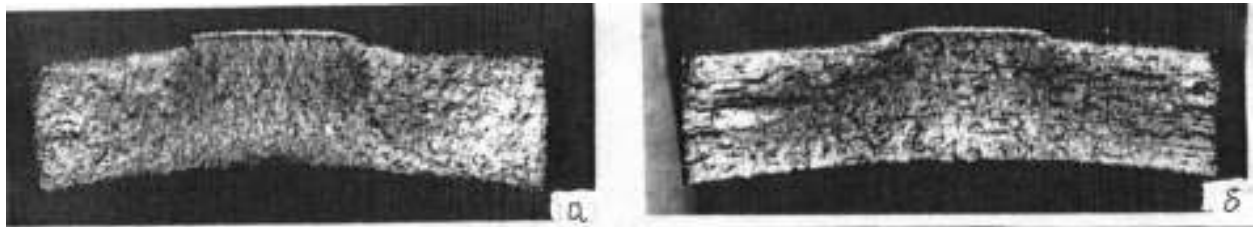


Рисунок 2 – Вид зламів, розірваних при розтягненні зразків гарячекатаних сталей [8]: а – 08ЮА і 20ЮА; б – 08кп і 20кп

Аналіз літературних даних свідчить про те, що найбільш негативний ефект обробки в БТА характерний для штаб товщиною від 4 до 6 мм із киплячих сталей. З метою усунення негативних наслідків обробки в БТА гарячекатані штаби із киплячої сталі піддавали пом'якшуючому відпалу у ковпакових печах при температурах 620-650°C. Проведення вказаної термічної обробки дозволило підвищити пластичність гарячекатаних травлених в БТА сталевих штаб та забезпечити рівень механічних властивостей металу згідно з ГОСТ 4041-2017. Однак, в результаті даної обробки в штабах утворилась структура з феритним зерном величиною від 1 до 5 номеру. Крупнозерниста структура (зерно розміром вище 6 номера) в гарячекатаному прокаті є причиною утворення тріщин і розривів металу при холодному листовому штампуванні.

Виміри, проведені за допомогою контрольних рисок, нанесених на поверхню гарячекатаних штаб з кроком 500 мм, показали, що сумарна деформація, яка отримується металом в лінії БТА, знаходиться в зоні критичних деформацій.

В металі, що зазнав критичної деформації, величина якої для низьковуглецевих сталей знаходиться приблизно в діапазоні від 5 до 15 %, під час рекристалізаційного відпалу зростають дуже крупні зерна [9]. Деформація металу поза зоною критичних деформацій дозволяє уникнути утворення в ньому при відпалі несприятливої для холодної штамповки крупнозернистої структури.

Відомий спосіб полягає в тому, що гарячекатані, травлені в БТА штаби, крім відпалу, піддають додатковому обтискуванню з метою перевищення су-

марного ступеню деформації вище критичного. Додаткову деформацію забезпечує кліть для дресування, встановлена в хвостовій частині БТА. З невеликим запасом вибрали необхідний сумарний ступінь деформації $\Sigma \varepsilon_{\text{деф.}} = 20\%$. Отже, ступінь додаткової деформації, що вимагається, складає $\varepsilon_{\text{дод.деф.}} = 8\%$. Ділянку штаби з металом вирізували і дресували з обтискуванням 8%.

Для металу, який додатково піддавався та не піддавався дресуванню, застосовували відпал при температурах 500, 550, 600, 650, 700, 750 і 800°C.

Встановлено, що мікроструктура і механічні властивості додатково недресованого відпаленого гарячекатаного металу не відповідають вимогам ГОСТ 4041–2017. Додаткове дресування прокату із киплячої сталі та відпал при температурі 600–800°C забезпечують формування комплексу властивостей і мікроструктуру згідно з ГОСТ 4041–2017 (розмір феритного зерна в структурі складає 25–40 мкм по всьому перерізу штаби; $\sigma_b = 320\text{--}330$ МПа, $\delta_{10} = 33\text{--}35\%$, HRB 53–55).

Таким чином, для отримання механічних властивостей і мікроструктури згідно з ГОСТ 4041–2017 в гарячекатаному відпаленому товстолистовому прокаті із низьковуглецевої киплячої сталі необхідно, щоб сумарний ступінь деформації, який отримує метал в БТА перед відпалом, перевищував критичний.

Висновок. Досліджено вплив дресування на структуру та механічні властивості гарячекатаної листової сталі. Встановлено, що з метою підвищення пластичності гарячекатаних штаб та забезпечення рівня механічних властивостей металу і структури згідно з ГОСТ 4041–2017 доцільно здійснити вибір параметрів дресування для отримання якісної листової сталі, призначеної для холодної штамповки.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Франценюк И.В. Тонколистовой прокат разных уровней пластичности и прочности для холодной штамповки / И.В. Франценюк, Л.И. Франценюк, С.С. Колпаков, А.П. Коньшин, В.Г. Иванченко, Е.С. Какушкин // Сталь. – 1991. – № 12. – С. 42 - 45.
2. ПРОКАТКА АВТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ / [КСЕНЗУК Ф.А., ТРОЩЕНКОВ Н.А., ЧЕКМАРЕВ А.П., САФЬЯН М.М. и др.]. – М.: МЕТАЛЛУРГИЯ, 1969. – 296 с.
3. Мазур В.Л. Теория и технология тонколистовой прокатки (Численный анализ и технические предложения) / В.Л. Мазур, А.В. Ноговицын // – Днепропетровск: РВА "Дніпро – VAL". – 2010. – 500 с.

4. Бельченко Г.И. ОСНОВЫ МЕТАЛЛОГРАФИИ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛИ / Г.И. Бельченко, С.И. Губенко. – Киев–Донецк: Вища школа, 1987. – 240 с.
5. Иванченко В.Г. Влияние температурных условий обработки полос в непрерывно–травильных агрегатах на свойства горячекатаного металла / В.Г. Иванченко, П.Н. Смирнов, Ю.А. Токарев, Л.И. Ярославцев // В сб. научн. труд. «Повышение качества тонколистовой стали». – М.: Металлургия, 1986. – С. 18-21.
6. Иванченко В.Г. Горячекатаный листовой прокат для холодной штамповки / В.Г. Иванченко // Тематич. сб. научн. труд. "Черная металлургия. Наука–технология–производство". – М.: Металлургия. – 1989. – С. 246–249.
7. Иванченко В.Г. Особенности дрессировки горячекатаного листового проката / В.Г. Иванченко // Металл и литье Украины. – 1994. – № 7–8. – С. 10-13.
8. Мазур В.Л. Повышение качества листового проката / В.Л. Мазур, А.П. Качайлов, В.Г. Иванченко, Д.И. Добронравов. – К.: Техніка, 1979. – 143 с.
9. Левченко Г.В. Особенности формирования структуры листового проката при деформации в двухфазной аустенитно-ферритной области / Г.В. Левченко, С.А. Воробей, А.М. Нестеренко, Т.В. Грицай // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 4–5. – С. 107–111.

REFERENCES

1. Frantsenyuk I.V. Thin-sheet products of various levels of ductility and strength for cold forming / I.V. Frantsenyuk, L.I. Frantsenyuk, S.S. Kolpakov, A.P. Kon'shin, V.G. Ivanchenko, E.S. Kakushkin // Steel. – 1991. – № 12. – P. 42 - 45.
2. Ksenzuk F.A. Auto sheet steel rolling / F.A. Ksenzuk, N.A. Troshchenkov, A.P. Chekmarev, M.M. Saf'yan. – M.: Metallurgy. – 1969. – 296 p.
3. Mazur V.L. Theory and technology of thin sheet rolling / V.L. Mazur, A.V. Nogo-vitsyn. – Dnepropetrovsk: RVA "Dnipro – VAL". – 2010. – 500 p.
4. Bel'chenko G.I. Fundamentals of metallography and plastic deformation of steel / G.I. Bel'chenko, S.I. Gubenko. – Kiev - Donetsk : Vishcha shkola, 1987. – 240 p.
5. Ivanchenko V.G. Influence of temperature conditions of strip processing in continuous pickling units on the properties of hot-rolled metal / V.G. Ivanchenko, P.N. Smirnov, Yu.A. Tokarev, L.I. Yaroslavtsev. – M.: Metallurgy. – 1986. – P. 18-21.
6. Ivanchenko V.G. Hot rolled sheets for cold forming / V.G. Ivanchenko. – M.: Metallurgy. – 1989. – P. 246–249.
7. Ivanchenko V.G. Features of tempering of hot-rolled sheet products/ V.G. Ivanchenko // Metal and casting of Ukraine. – 1994. – № 7–8. – P. 10-13.
8. Mazur V.L. Improving the quality of sheet steel / V.L. Mazur, A.P. Kachaylov, V.G. Ivanchenko, D.I. Dobronravov. – K.: Tehnics, 1979. – 143 p.

9. Levchenko G.V. Features of the formation for structure of sheet metal during deformation in the two-phase austenitic-ferritic region / G.V. Levchenko, S.A. Vorobey, A.M. Nesterenko, T.V. Gritsay // *Teory and practice of metallurgy*. – 2007. – № 4–5. – P. 107–111.

Received 17.04.2021.

Accepted 30.04.2021.

***Влияние дрессировки на структуру и свойства горячекатаной
листовой стали для холодной штамповки***

Исследовано влияние дрессировки на структуру и свойства горячекатаных стальных полос и листов, предназначенных для холодной штамповки. Установлено, что дополнительная дрессировка проката из стали 08кп и отжиг при температуре 600-800°C обеспечивает формирование уровня свойств и микроструктуру в соответствии с ГОСТ 4041–2017.

Определено, что для получения необходимого комплекса механических свойств и микроструктуры в горячекатаном толстолистовом прокате из низкоуглеродистой кипящей стали необходимо, чтобы суммарная степень деформации перед отжигом превышала критическую.

Исследовано влияние дрессировки на структуру и механические свойства горячекатаной листовой стали. Установлено, что с целью повышения пластичности горячекатаных полос и обеспечения уровня механических свойств металла и его структуры в соответствии с ГОСТ 4041–2017 целесообразно установить параметры дрессировки для получения качественной листовой стали для холодной штамповки.

***Influence of skin-rolling on the structure and properties
of hot-rolled sheet steel for cold stamping***

We investigated the influence of skin-rolling on the structure and properties of hot-rolled steel strips and sheets for cold stamping. It has been established that skin-rolling of rolled steel made of 08kp steel and annealing at a temperature of 600-800°C provides the formation of properties and microstructure in accordance with ГОСТ 4041–2017.

It was found that to obtain the required combination of mechanical properties and microstructure in hot-rolled plate made of low-carbon boiling steel, it is necessary that the total degree of deformation before annealing exceeds the critical one.

Conclusion. We investigated the influence of tempering on the structure and mechanical properties of hot-rolled sheet steel. It has been established that in order to increase the ductility of hot-rolled strips and ensure the level of mechanical properties of the metal and structure in accordance with ГОСТ 4041–2017, it is advisable to skin-rolling tempering parameters to obtain high-quality sheet steel for cold stamping.

Куцова Валентина Зиновьевна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой материаловедения Национальной металлургической академии Украины

Іванченко Віталій Георгієвич – кандидат технических наук

Котова Татьяна Владимировна – к.т.н., доцент кафедры материаловедения Национальной металлургической академии Украины.

Ковзель Максим Анатольевич – кандидат технических наук. доцент кафедры материаловедения Национальной металлургической академии Украины.

Куцова Валентина Зіновіївна – д.т.н., професор, завідувача кафедрою матеріалознавства Національної металургійної академії України.

Іванченко Віталій Георгійович - кандидат технічних наук.

Котова Тетяна Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства Національної металургійної академії України.

Ковзель Максим Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства. Національна металургійна академія України Україна.

Kutsova Valentina – Doctor of Engineering`s Sciences, Professor, Head of Department of material science of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Ivanchenko Vitalii - Ph.D.

Kotova Tetiana – Ph.D., Associate Professor, Department of material science of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Kovzel Maxim – Ph.D. National Metallurgical Academy of Ukraine.

S. Klishch, A. Guda, Yu. Synytsina, Yu. Mala

A PRACTICAL APPROACH TO MALWARE ANALYSIS

Abstract. Malware analysis takes significant place at the intersection of incident response, forensics, and security monitoring, and system and network administration. The reason behind performing malware analysis is to extract information from a malware sample that can assist in responding to a malware incident. From a business perspective malware analysis is critical for saving valuable data of many organizations since the control of any IT system vulnerability in the wrong hands can have unexpected consequences. In this article we will cover general practical aspects and pre requirements needed for quick start in this area.

Key words: malware, cybersecurity, malware analysis, forensics, malware analysis tools

1. Introduction

Malware Analysis is one of the unique fields in Cybersecurity [1]. To be able start in this area it is recommended to have a basic understanding of: low-level programming, operating system concepts, high-level programming languages such as C, C++, also networking and network protocols, cybersecurity in general.

2. Malware and malware analysis goals

Malware stands for Malicious Software. This can be any software or code that is used with malicious intent. The most common malicious ideas are: stealing critical information, disrupting services or organizations, obtaining unauthorized access, espionage, spam, DDoS, ransom for victim files. According to these ideas malware analysis has corresponding goals: find out how malware works, its possible detection methods, and propose measures to contain or eliminate anticipated threats [2].

Malware analysis toolkit:

- File format analyzers
- System and network monitoring tools
- Behavioral analysis tools
- Code analysis tools
- Additional tools for data manipulation: converters, editors, registry interaction tools

- Virtualization, containerization tools

Another one step after finishing analyzing the sample is to write a signature that can help in detection process for other systems. It is called Indicator of Compromise or IOC.

3. Malware types

There are some common malware types [3]:

1. Virus

A type of malicious software that require human action to infect a target and are often spread through email attachments and internet downloads.

2. Worm

Have something in common with viruses but has an ability to spread itself without intervention or help from the user.

3. Scareware

A type of malware that uses social engineering to trick the user into doing something unwanted, such as installing, downloading software that pretends to be antivirus, or cleaning software.

4. Ransomware

A type of malware that denies access to your system and personal information, and usually demands a payment to get your access back.

5. Botnets

A group of compromised computers that are controlled by an attacker through a command and control (C&C) channel. Often used for Distributed Denial of Service (DDoS) attacks or for performing CPU/GPU intensive tasks such as cryptocurrency mining.

6. Trojan

Software that looks and acts like a regular program but contains malicious code within it. Can be combined with a worm to make the process of harm endless.

7. Spyware

Installed on the system without user knowledge. Designed to eavesdrop, gather information.

8. Rootkit

A type of malware that is designed so that it can remain hidden on your computer.

9. KeyLogger

It is malicious software for recording computer user keystrokes to steal passwords and other sensitive information.

10. LogicBomb

A code or a piece of malicious code that is intentionally inserted into software. It is triggered only after certain conditions are met.

11. Backdoors/RAT[4]

A type of malware that attacker installs in the victim's machine without the victim's knowledge. It gives an attacker remote access into the victim's device by opening a port or establishing a remote connection in the background.

12. Dropper

A type of malware that hides another malware inside it that can be executed.

13. Downloader

A type of malware that downloads and install another malware that does the actual actions.

14. Adware

A type of malware that gives unwanted advertisements.

4. Analysis techniques

Malware analysis can be done by: static analysis, dynamic analysis.

Static analysis is done without executing malware. Basic: analyze the file properties, file structure, the functions being used, etc. Advanced: analyst tries to understand the malware by doing reverse engineering.

Dynamic analysis is done by executing malware and monitoring its behavior. There are two approaches such as basis and advanced. Basic: run malware in a virtual environment with preinstalled and configured monitoring tools. Analyze what tools output. Advanced: Run malware by using debugger. This would give more control on the malware.

There are many free resources for training with malware samples:

- <https://github.com/ytisf/theZoo>
- <https://thezoo.morirt.com/>
- <https://dasmalwerk.eu/>
- <https://github.com/InQuest/malware-samples>
- <https://github.com/fabrimagic72/malware-samples>
- <https://www.malware-traffic-analysis.net/>
- <https://awesomeopensource.com/project/InQuest/malware-samples>
- <https://contagiodump.blogspot.com/>
- <https://objective-see.com/malware.html>
- <https://zeltser.com/malware-sample-sources/>

Additional resources that require registration:

- <https://virusshare.com/>
- <https://bazaar.abuse.ch/>
- <https://malshare.com/>
- <https://www.hybrid-analysis.com/>
- <https://app.any.run/>

5. Acquisition tools

Evidence acquisition tools can be categorized into:

- Disk imaging tools
- Memory acquisition tools
- Other tools

There are preconfigured images (virtual machines) with these tools. It can simplify the process and help avoid mistakes such as accidentally overwriting important information when automatically mounting a hard drive.

Virtual machines:

- Windows Forensic Environment (WinFE) <https://www.winfe.net/download>
- SIFT Workstation <https://digital-forensics.sans.org/community/downloads>
- CAINE (Computer Aided Investigative Environment) <https://www.caine-live.net/page5/page5.html>

Disk imaging tools:

- FTK Imager <https://accessdata.com/product-download>

Used for data acquiring from hard or removable drives, computer memory.

- Guymager – is a free forensic imager for media acquisition.
- Magnet ACQUIRE <https://www.magnetforensics.com/resources/magnet-acquire/>

Help to acquire forensic images from iOS or Android devices.

Memory tools:

RAM starts fresh every time the computer is turned on. Once the system is shut down, information stored in RAM will be lost. From analyst perspective there is a lot of valuable information such as running processes, open sockets, cached passwords, etc.

1. DumpIt <https://github.com/comaeio>

This tool is a part of the free Comae Memory Toolkit. This tool supports from Windows XP until Windows 10 64-bits. It provides extra information during the acquisition such as displaying the Directory Table Base and the address of the debugging data structures, which are necessary parameters for memory analysis framework such as Rekall and Volatility.

2. Hibr2Bin <https://github.com/comaeio>

This tool enables users to uncompress Windows Hibernation file. Also supports from Windows XP up to Windows 10 x64

3. Belkasoft Live RAM Capturer <https://belkasoft.com/ram-capturer>

It is a free forensic tool that allows to reliably extract the entire contents of computer's volatile memory – even if protected by an active anti-debugging or anti-dumping system. Belkasoft Live RAM Capturer is compatible with all versions and editions of Windows including XP, Vista, Windows 7, 8 and 10, 2003 and 2008 Server [5].

Additional tools:

1. Kroll Artifact Parser and Extract (KAPE)

<https://www.kroll.com/en/services/cyber-risk/incident-response-litigation-support/kroll-artifact-parser-extractor-kape>

KAPE is a free-software program that will target a device or storage location, find the most forensically important artifacts (based on your needs), and parse them within a few minutes. Because of its speed, KAPE allows investigators to find and prioritize the systems most critical for their case [6].

2. Rawcopy <https://github.com/jschicht/RawCopy>

It is a command line application that copy files off NTFS volumes by using low level disk reading method.

3. GRR Rapid Response <https://grr-doc.readthedocs.io/en/latest/>

It is an incident response framework focused on remote live forensics. It consists of a python client (agent) that is installed on target systems, and python server infrastructure that can manage and talk to clients. The goal of GRR is to support forensics and investigations in a fast, scalable manner to allow analysts to quickly triage attacks and perform analysis remotely [7].

4. Osquery <https://osquery.io/>

It is open source. It is used to record network connections and process executions. Windows, macOS, CentOS, FreeBSD, and almost every Linux OS released since 2011 are supported with no dependencies. Frequently, attackers will leave a malicious process running but delete the original binary on disk. This query returns any process whose original binary has been deleted, which could be an indicator of a suspicious process.

5. Static Analysis

The idea is to study as much as you can about the sample without running it. It can be done in four stages:

1. File identification and classification

File identification is the process of identifying the file type and obtaining a unique signature of the sample being analyzed. Classifying the sample can help to understand if it belongs to a well-known malware, which has been previously analyzed.

Identification based on the file types: Portable Executable (PE), PDF, DOCX, MP3. Based on file hashes: known hashes – md5, sha1, sha256 or fuzzy hash or ImpHash Based on strings embedded: strings can be encoded ASCII or Unicode.

All files can be divided in two categories such as ASCII (plain text files HTML, XML, etc.) and binary (structured files PDF, EXE).

Hashing used to classify malware as well. Hashing generates a fixed length string that referred to as a hash. The hash of the sample can be used to search for its existence within a database of known malware hashes. For example such service as VirusTotal. Two different files should not generate the same hash value. If this happened we call it a “hashing collision”. If we change only one single bit of a file, it will lead to a completely different hash value. Malware that can modify itself is known as malware that is applying polymorphism. To deal with this type of malware we should use “Fuzzy hashing”.

2. Scanning

A scanner makes a decision is file malicious or not based on scanning results. Offline scanners: ClamAV, Malwarebytes. Online scanners: VirusTotal, Hybrid-Analysis. From investigation perspective it is best to keep samples as much confidential as possible. For example, information disclosure actions can give attackers a signal that their activity has been detected. In this situation we should use offline scanners, or use an offline sandbox. It is software that creates an isolated or controlled environment and runs a program inside. Mostly sandbox used for mitigation a threat or a possible threat from spreading to other systems. Example of commonly used sandbox for malware analysis is Cuckoo <https://cuckoosandbox.org/> sandbox. It is open source.

3. File format Analysis

Analyst should be familiar with Portable Executable (PE) file format. PE structure presented below.

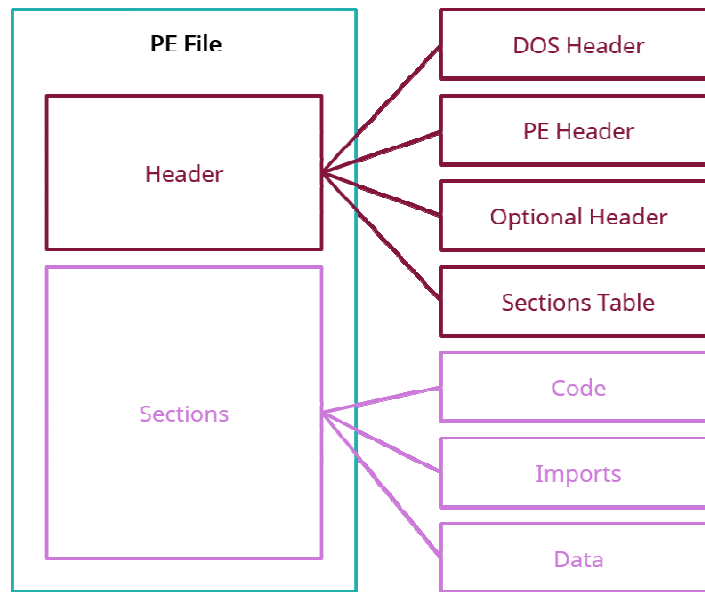


Figure 1 - PE structure

When we run any executable file or some shell program such as cmd.exe in the background being initiated many activities. The difference between programs that each one of them has requirements:

1. Memory space
2. Memory permissions
3. Place for program in memory
4. Dependencies for program to run
5. Address space to start the execution

In conclusion one executable file not always work with zero dependencies, moreover it will use some libraries in operation system. The same idea goes with malware: it also depends on functions and libraries. These interactions can be tracked, so it will help to understand what exactly does the program. There are Microsoft libraries implementation of the shared library it is called Dynamic-link Library (DLL). It helps to make program distribution easier, maintenance easier.

The file types listed below can be executed, some of them through Windows Shell (Explorer.exe), while others, such as .dll files, require another program or service to run them.

Table 1

Executable file types

Extension	Description	Extension	Description
.exe	Executable	.acm	Audio Compression Manager
.dll	Dynamic-link Library	.ocx	ActiveX Forms
.efi	Extensible Firmware Interface file. EFI files are boot loader executables	.mui	Multilingual User Interface file which contain resources that allow changing the Windows interface to display different languages.
.ax	MPEG-4 DVD Filter	.scr	Screenasaver
.cpl	Control Panel	.sys	Device driver (kernel)
.drv	Driver file (kernel)	.tsp	Windows Telephony Service Provider file

4. Identifying Obfuscation

Obfuscation is one of the methods that threat actors use in order to hide their malware. The idea is to modify the code in a way to make understanding the program more difficult while preserving its functionality. Also it is important to know that obfuscation can be used for software copyright protection or digital rights management purposes.

6. Indicators of Compromise (IOCs)

Main detection mechanisms are: signature based, anomaly and behavioral based, reputation based, hybrid based. Types of IOCs in the table below:

Table 2

Indicators of Compromise

Network-based Indicators	Host-based Indicators
IP Addresses (IPv4 or IPv6)	File Names
URLs	File Hashes
Domain Names	File Locations (paths)
Source Email Addresses	DLLs used
Email Attachments	Registry Keys
Email Message Objects	Process Handle
X509 Certificate Hashes	Etc.

A signature could include one or more IOC. To identify and classify malware samples we can use YARA <https://yara.readthedocs.io/en/v3.4.0/gettingstarted.html>. It is a language that helps to describe malware.

7. Dynamic Analysis

It is a process of analyzing malware samples by running them in a contained environment. For dynamic analysis it is a good idea to run the sample within a VM, and also on the computer where no any important or personal information.

There are good solutions like Shadow Defender (SD) <https://www.shadowdefender.com/download.html>. Shadow Defender is an easy-to-use security solution (for Windows operating systems) that protects your PC real environment against malicious activities and unwanted changes. Shadow Defender can run your system in a virtual environment called “Shadow Mode”. This mode redirects each system change to a virtual environment with no change to your real environment. If you experience malicious activities or unwanted changes, perform a reboot to restore your system back to its original state, as if nothing happened [8].

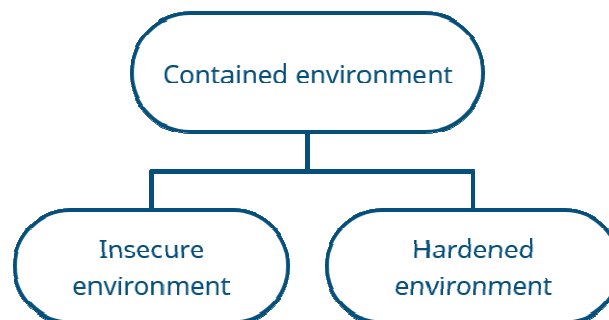


Figure 2 - Security level states of contained environment

Insecure environment lacks many of the security measures on purpose, to see how the malware acts. It is important to be able to see what the capabilities of the malware are. Also we can run the sample with high privileges to see its capabilities.

Hardened environment usually used to test the ability to withstand a successful compromise in the environment. This means that analyst wants to test how well secure is the environment if that malware sample was executed inside. This approach helps find hidden exploitable misconfigurations or vulnerabilities in the environment.

Table 3

Static versus dynamic analysis		
	Methods	Notes
Static	Hashing, header analysis, file type analysis	Fast, easy
	Running scanners	Fast, easy
	PE analysis	Fast, intermediate
	Static code analysis	Slow, difficult
	Reverse engineering	Slow, difficult
Dynamic	Running malware in a Sandbox	Relatively fast, easy
	Running malware without a Sandbox	Relatively fast, intermediate
	Debugging	Slow, difficult

The process of dynamic analysis can be described as follow:

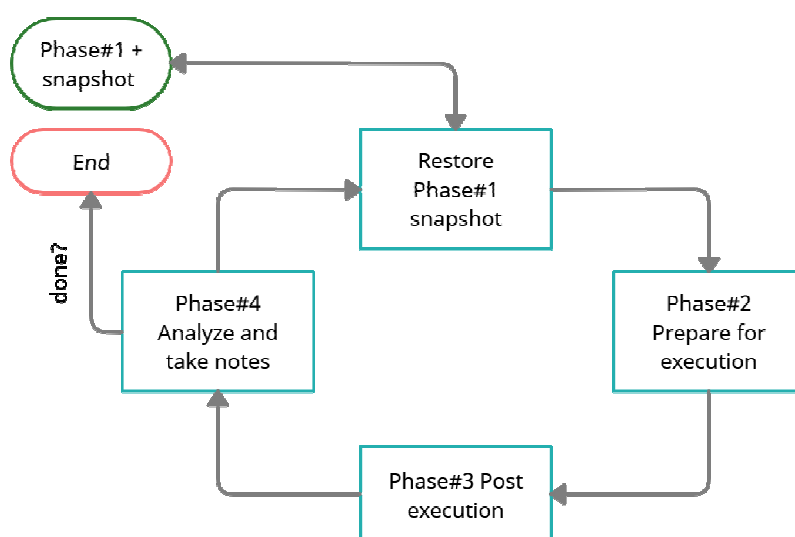


Figure 3 - Dynamic analysis phases

1. Deploy a virtual machine with the OS needed; install all the tools needed; take a snapshot of the vm.
2. Transfer malware to the created machine; prepare monitoring tools.
3. Execute the malware; start tracking malware activity; capture screenshots, copy memory dumps, config files, registry files.
4. Analyze and take notes of everything that happened.

8. Conclusion

Based on studied techniques, methods and tools that related to malware analysis process the following conclusions are obtained:

1. Malware analysis is one of the unique cybersecurity skills that every analyst should improve.

2. Static and dynamic analysis approaches each have advantages in the process of analyzing malware. But by combining the two methods will be able to provide more accurate results.

3. Each malware type has its own way of working, therefore malware analysis is an important thing to do in order to find the right steps to overcome and prevent malware attacks.

4. There are enough open source, free resources and tools to start and do progress in malware analysis field.

REFERENCES

1. 6 Common Types of Malware [Electronic resource] – Resource access mode: <https://blog.totalprosource.com/5-common-malware-types>.
2. What is Keylogging? [Electronic resource] // Avast Software s.r.o – Resource access mode: What is Keylogging?
3. The 11 most common types of malware [Electronic resource] // Crowdstrike. – 2020. – Resource access mode: <https://www.crowdstrike.com/cybersecurity-101/malware/types-of-malware/>.
4. Backdoor computing attacks [Electronic resource] // Terms of Service – Resource access mode: <https://www.malwarebytes.com/backdoor/>.
5. Volatile Memory Acquisition Tool: RAM Capturer [Electronic resource]. – 2016. – Resource access mode: <https://vulners.com/n0where/NOWHERE:131256>.
6. Kroll Artifact Parser and Extractor (KAPE) Training [Electronic resource] // Duff & Phelps – Resource access mode: <https://www.kroll.com/en/insights/publications/cyber/kroll-artifact-parser-extractor-kape>.
7. GRR on GitHub [Electronic resource] // GRR team. – 2019. – Resource access mode: <https://grr-doc.readthedocs.io/en/latest/>.
8. Xoslab.com [Electronic resource] // Xoslab.COM. – 2020. – Resource access mode: <http://xoslab.com>.

Received 30.04.2021.
Accepted 04.05.2021.

Практичний підхід до аналізу шкідливого програмного забезпечення

Аналіз шкідливого програмного забезпечення займає значне місце на стику реагування на інциденти, судово-медичної експертизи та моніторингу безпеки, а також системного та мережевого адміністрування. Необхідність проведення аналізу шкідливого програмного забезпечення обумовлена вилученням інформації із зразка шкідливого програмного забезпечення, яка може допомогти в реагуванні на інциденти. З точки зору бізнесу аналіз шкідливого програмного забезпечення є критичним для збереження цінних

даних багатьох організацій, оскільки контроль будь-якої вразливості ІТ-системи в чужих руках може мати непередбачені наслідки. У цій статті ми розглянемо загальні практичні аспекти та вимоги, необхідні для швидкого старту в цій галузі.

A practical approach to malware analysis

Malware analysis takes significant place at the intersection of incident response, forensics, and security monitoring, and system and network administration. The reason behind performing malware analysis is to extract information from a malware sample that can assist in responding to a malware incident. From a business perspective malware analysis is critical for saving valuable data of many organizations since the control of any IT system vulnerability in the wrong hands can have unexpected consequences. In this article we will cover general practical aspects and pre requirements needed for quick start in this area.

Кліщ Сергій Михайлович – аспірант, кафедра інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Гуда Антон Ігорович – д.т.н., професор, кафедра інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Мала Юлія Анатоліївна – доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення, Університет митної справи та фінансів.

Синиціна Юлія Петрівна – к.т.н., кафедра економічної та інформаційної безпеки, Дніпропетровський Державний університет внутрішніх справ.

Клишч Сергей Михайлович – аспірант, кафедра информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Гуда Антон Игоревич – д.т.н., профессор, кафедра информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Малая Юлия Анатольевна – доцент кафедры компьютерных наук и инженерии программного обеспечения, Университет таможенного дела и финансов.

Синицына Юлия Петровна – к.т.н., кафедра экономической и информационной безопасности, Днепропетровский Государственный университет внутренних дел.

Klishch Sergey – post-graduate student, assistant, Department of information technology and systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Guda Anton – doctor of technical sciences, professor, Department of information technology and systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Mala Yuliia – associated professor of computer science and software engineering chair, University of Customs and Finance.

Synytsina Yuliia – PhD in Technical Sciences, Department of Economic and Information Security, Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs.

Вік.В.Гнатушенко, В.П. Руденко, В.Ю. Царик

ПРОЕКТУВАННЯ ІТ БІЗНЕС МОДЕЛІ НА ОСНОВІ БЕЗСЕРВЕРНИХ СЕРВІСІВ

Анотація. Розвиток інформаційних технологій в бізнесі тягне за собою широке застосування хмарних обчислень: зберігання і обробку даних на стороні компанії, яка надає відповідні Інтернет-сервіси. Тому актуальною є задача дослідження і проектування ІТ бізнес моделі на основі безсерверних сервісів, що дозволяє забезпечити доступність для користувачів, зниження витрат на обслуговування віртуальної інфраструктури. У роботі розроблена система з використанням AWS, яка призначена для розробки, проектування та модернізації сучасних «локальних» бізнес моделей, задля підвищення ефективності та економії ресурсів.

Ключові слова: AMAZON WEB SERVICES, модель, проектування.

Постановка проблеми. Останні роки використання хмарних (Cloud) технологій швидко зростає на ринку інформаційних технологій завдяки віртуалізації апаратного середовища, бажанню бізнесу стати мобільнішими, втомі компаній від необхідності оновлювати свої ІТ-системи кожні кілька років, вибуховому зростанню інновацій, що призводить до посилення ринкової конкуренції [1].

Хмарні обчислення вже допомогли багатьом підприємствам провести цифрову трансформацію бізнесу, але ринок Cloud переходить на другу хвилю розвитку період зростання ринку як приватних, так і публічних хмар. Цьому сприяє прагнення підприємств вести бізнес і обслуговувати клієнтів ефективніше: за рахунок масштабування своїх ресурсів, завдяки гнучкості використовуваних технологій, за рахунок можливостей швидкої адаптації компаній під зміни сучасних реалій бізнесу. Тому дослідження та розробка бізнес моделі з використанням безсервісних сервісів є актуальною, що дозволить своєчасно і послідовно використовувати сучасні ІТ технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можливість використання хмарних інфраструктур все міцніше закріплюється в свідомості власників корпоративних бізнес-рішень (ІТ-рішень) [2]. Навіть якщо підприємство не робить великих ставок на обчислення в публічних хмарах, використання хмарних рі-

шень в тій чи іншій формі є невід'ємною частиною стратегії і планів розвитку інфраструктури більшості підприємств в силу доступності, економічної ефективності та достатнього рівня надійності.

Amazon Web Services (AWS). AWS є популярним провайдером загальнодоступних хмар з найширшим спектром продуктів, опцій для обчислень і зберігання даних, а також послуг, які клієнт може передати під управління [3]. AWS Marketplace є найбільшим торговим майданчиком для додатків і пристроїв сторонніх виробників. Товари та послуги на такому ринку і сам AWS часто оновлюються, щоб постійно додавати функції продуктів для своїх клієнтів. AWS приділяють велику увагу рекомендаціям з безпеки та архітектури. Корпоративні інфраструктури, такі як Well-Architected Framework і Cloud Adoption Framework, були розроблені на основі досвіду роботи з великими корпоративними клієнтами. Крім основних послуг, вони також випускають нетрадиційні сервіси, такі як SnowMobile (пристрій передачі даних з автомобіля), RoboMaker (фреймворк для робототехніки) і «наземна станція як послуга» (для керованого завантаження даних з супутника).

Хмарне сховище даних поставляється AWS з різними варіантами, такими як динамічна зміна розміру, різні типи дисків (традиційний і SSD). На відміну від інших CSP, AWS не обмежує кількість операцій введення-виведення в секунду (IOPS) за розміром розділу. Сервіс обслуговування реляційних баз даних AWS підтримує керовані бази даних для MySQL, PostgreSQL, MariaDB, Oracle і MS SQL в рамках своєї пропозиції RDS. Крім того, AWS мають свої власні бази даних, сумісні з MySQL і PostgreSQL, які можуть похвалитися продуктивністю, подібною Oracle, але доступні за невелику плату

За останнє десятиліття AWS поліпшив свій портфель мережевих послуг. Він надає керований NAT-шлюз, VPN-шлюз, Transit-шлюз, шлюз прямого доступу і т.д. Для забезпечення безпеки мережі AWS запустила керовані сервіси для захисту від розподілених мережевих атак DDoS (AWS Shield) і брандмауера веб-додатків (WAF), а також AWS Inspector, AWS Config і CloudTrail для управління запасами продуктивності, політиками і аудитом. Сервіс GuardDuty забезпечує виявлення загроз. З метою безпеки даних AWS забезпечує шифрування в стані очікування для більшості своїх служб зберігання. AWS також має сервіси KMS і CloudHSM для управління ключами.

Microsoft Azure. Microsoft прийшов пізніше з помітним відставанням від AWS в наданні публічних хмарних сервісів і спочатку зосередився на пропозиціях SaaS і PaaS (програмне забезпечення як послуга і платформа як послуга),

оскільки її сильні сторони лежать як в корпоративному, так і в споживчому ПЗ. Згодом Microsoft зробила Azure більш зручною і вбудувала підтримку API для різних сервісів. Однак, незважаючи на широкий спектр послуг, Microsoft істотно відстає від AWS в корпоративному впровадженні.[4]

Зараз Azure - це зріла хмарна платформа з широким набором функцій, яка може бути кращою платформою для клієнтів, які якимось чином вже використовують продукти Microsoft. Хоча Azure підтримує ряд сервісів на основі продуктів з відкритим вихідним кодом, портфоліо Microsoft в хмарі - це те, що виділяє його серед конкурентів. Azure надає більше 151 типів віртуальних машин і більше 26 сімейств віртуальних машин, які підтримують всі - від невеликих web-систем до навантажень HPC, Oracle і SAP. Azure має як Windows, так і кілька версій Linux (RHEL, CentOS, SUSE, Ubuntu). У Azure є окреме сімейство примірників для роботи з машинним навчанням і штучним інтелектом (ML / AI).

Google Cloud Platform (GCP). Хмарна платформа Google (GCP) має найменшу частку ринку серед постачальників загальнодоступних хмарних обчислень в порівнянні з конкурентами (поточна частка ринку близько 4%), демонструє стійке відсоткове зростання. З точки зору обчислень, Google має найменшу кількість типів віртуальних машин (28 типів примірників по 4 категоріям), але тим не менш, GCP має одну особливість, яка робить ці цифри не такими важливими. Google дозволяє користувачам створювати свої власні нестандартні розміри (процесор, пам'ять), щоб клієнти могли зіставити розміри своїх хмарних навантажень з їх розмірами на попередньому етапі.[5]

Мережеві можливості - це те, де GCP сяє. У Google є глобальна мережа доступу до ресурсів з низькою затримкою. Інші CSP (постачальники хмарних послуг) обмежують мережі VPC в окремому регіоні. Це дозволяє клієнтам GCP створювати додатки, які обслуговують клієнтів по всьому світу, без створення складних міжрегіональних інфраструктурних механізмів і механізмів реплікації даних.

Для реляційних баз даних GCP забезпечує підтримку СУБД MySQL і PostgreSQL. Для клієнтів, яким потрібна глобально розподілена база даних, яка як і раніше підтримує негайну узгодженість і властивості ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability). GCP створила Spanner, який використовує узгоджені алгоритми і атомний годинник для синхронізації транзакцій між вузлами. Ця пропозиція є унікальним для GCP і робить Spanner дуже привабливим для великих корпоративних клієнтів, які пред'являють ці вимоги зі свого сховища реляційних даних. Інша СУБД з відкритим вихідним кодом -

CockroachDB, заснована на описі Spanner, який опублікований Google. З точки зору NoSQL, у GCP є продукт під назвою BigTable - це керована база даних NoSQL, яка використовується Google у власних продуктах, таких як Gmail.

Незважаючи на те, що AWS може не володіти достатньою глибиною можливостей деяких інших постачальників хмарних послуг, в його портфелі є кілька унікальних продуктів, і він є привабливим варіантом використання для розробки та реалізації бізнес додатків.

Метою дослідження є створення сучасної бізнес моделі з використанням безсерверних сервісів та дослідження підходів до її розробки з використанням Amazon Web Services (AWS).

Основна частина. Безсервісні обчислення - природна для хмари архітектура, яка дозволяє передати більшу частину операційної відповідальності AWS і тим самим отримати більше гнучкості та інноваційних можливостей. Вони усувають необхідність займатися питаннями управління інфраструктурою - такими, наприклад, як виділення серверів або кластерів, необхідних ресурсів, а також установка виправлень і обслуговування операційної системи. Їх можна використовувати практично для будь-якого типу додатків або сервісів серверної частини, при цьому все, що потрібно для запуску і масштабування додатки з високою доступністю, виконується без втручання клієнта. Дозволяють створювати більш гнучкі сучасні програми з меншою сукупною вартістю. При створенні додатків розробники можуть зосередитися на основному продукті, не піклуючись про управління серверами, обслуговування серверів або середовищ як в хмарі, так і в локальному місті. Таким чином, розробники зберігають час і сили на розробку відмінних продуктів з високою надійністю і можливістю масштабування.

Amazon CloudWatch - це сервіс моніторингу хмарних ресурсів AWS і додатків, що працюють на AWS. Можна використовувати Amazon CloudWatch для збору і відстеження метрик, накопичення і аналізу логів, а також для створення попереджень. Amazon CloudWatch може вести моніторинг ресурсів AWS (таких як інстанси Amazon EC2, таблиці Amazon DynamoDB, інстанси БД Amazon RDS), призначених для користувача метрик додатків і сервісів, а також моніторинг будь-яких журналів додатків. Amazon CloudWatch можна використовувати для отримання зведеної інформації про систему, включаючи інформацію про використання ресурсів, продуктивності додатків і загальної працездатності системи. Ці дані застосовуються для оперативного реагування та забезпечення стабільної роботи додатків.[5]

AWS X-Ray допомагає розробникам аналізувати свої продукти і розподілені додатки, такі як програми на базі архітектури мікросервісів, а також усувати помилки.

X-Ray допомагає виконувати такі завдання:

- Створювати карти сервісів. X-Ray відстежує запити до додатка і створює карту використовуваних їм сервісів, це дозволяє побачити зв'язки між сервісами додатків, створити дерево залежностей, виявити затримки і помилки при роботі між зонами доступності та регіонами AWS, ідентифікувати сервіси, які працюють неправильно і т. д.

- Ідентифікувати помилки. X-Ray аналізує код, що повертається при обробці кожного запиту до додатка, і автоматично виділяє помилки в коді програми. Це дозволяє легко виправляти помилки в коді програми не відтворюючи їх.

- Створювати власні додатки для аналізу і візуалізації. X-Ray пропонує набір API для запитів, що дозволяють створити власні програми для аналізу і візуалізації на базі зібраних X-Ray даних.

Amazon Simple Notification Service (Amazon SNS) - це веб-сервіс, який спрощує настройку, використання і відправку повідомлень з хмари. У сервісі Amazon SNS є ряд переваг, які роблять його практичним рішенням для створення і інтеграції слабосвязаних розподілених додатків:

- Миттєва доставка на основі технології push (без опитувань).
- Прості інтерфейси API і зручна інтеграція з додатками.
- Гнучка доставка повідомлень по декількох протоколах передачі.
- Економічний тарифний план, що передбачає оплату за фактом використання, без попередніх платежів.
- Консоль управління AWS з простим інтерактивним веб-інтерфейсом.

Сфера застосування Amazon SNS дуже широка: повідомлення про події, додатки моніторингу, системи управління робочими процесами, оновлення термінової інформації, мобільні додатки, а також будь-які інші програми, для яких актуальна відправка або отримання повідомлень. Наприклад, в системах управління робочими процесами Amazon SNS можна використовувати для трансляції подій всередині розподілених обчислювальних систем, перенесення даних між сховищами або поновлення записів в бізнес-системах.

Проектування бізнес моделі. В роботі розроблено контекстну модель створення інтернет магазину за методологією IDEF0 (методологія функціонального моделювання і графічна нотація, призначена для формалізації і опису

бізнес-процесів). На рисунку 1 приведена модель IDEF0, що описує основні етапи створення інтернет магазину.

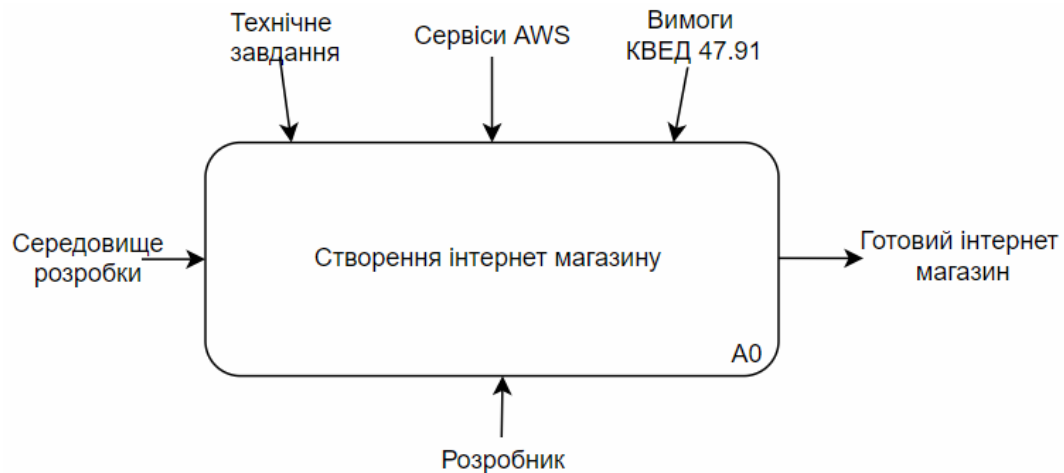


Рисунок 1 контекстна діаграма IDEF0

Взаємодія функцій між собою і зовнішнім світом описується:

- вхідним потоком даних – середовище розробки;
- потоком управління – технічне завдання замовника, сервіси AWS, вимоги КВЕД;
- вихідним потоком – матеріальний об'єкт або інформація, які представляють результат виконання функції розроблений інтернет магазин;
- механізмами – ресурси, які задіяні при виконанні функції – розробник.

Також розроблено Use Case (варіант використання) - сценарна техніка опису взаємодії. За допомогою Use Case визначено вимоги користувача, взаємодії окремих частин (модулів) систем, описано взаємодії людей і компаній в реальному житті. Приклад діаграми Use Case інтернет магазину наведено на рисунку 2.

На етапі проектування розроблено діаграму діяльності, яка відображає порядок дій об'єктів в часі та подання часових особливостей передачі і прийому повідомлень між об'єктами (рисунк 3). На діаграмі діяльності з оформлення замовлення зображені тільки ті об'єкти, які беруть участь у взаємодії, і не показуються можливі статичні асоціації з іншими об'єктами.



Рисунок 2 – Диаграмма Use-Case

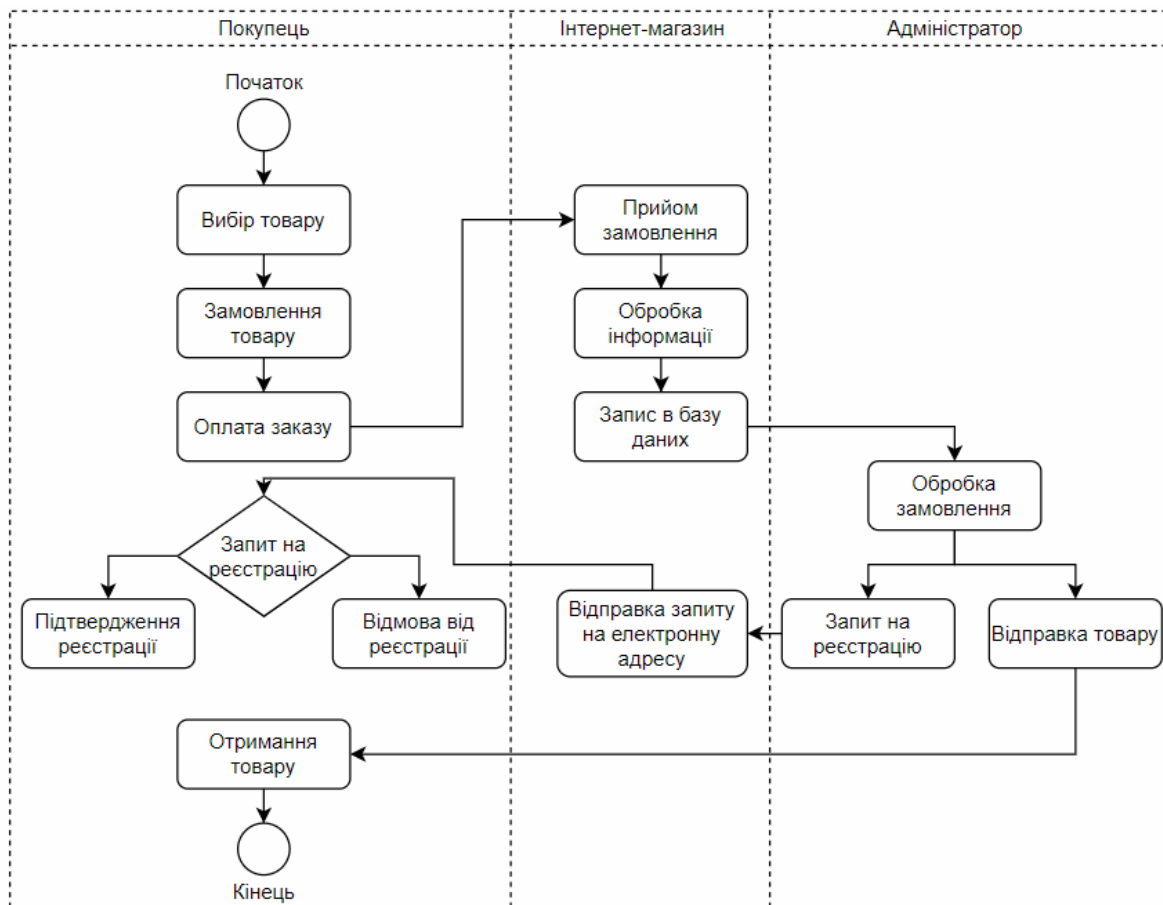


Рисунок 3 Диаграма діяльності

Реалізація бізнес моделі. Проаналізувавши поставлені задачі, було вирішено реалізувати систему на мові JavaScript, HTML, CSS та за допомогою технологій IntelliJ IDEA, PostgreSQL, Spring boot, Hibernate, Thymeleaf, CUBA platform, AWS.

В даній моделі використовується структура sandbox-shop та класів: Transaction, ClientReq, TransactionBuilder, TransactionRepository, TransactionService, ClientController, SandboxApplication, ObjectMapperConfig, WebConfig, WebSecurityConfig. Структура sandbox-shop використовується для представлення послуг покупцям.

Опис класів-членів, що містить структура sandbox-shop наведено нижче:

- Transaction - базова модель, що зберігається в БД;
- ClientReq - базовий запит від клієнта;
- TransactionBuilder - статичний клас для побудови моделі транзакції. Винесено в окремий клас для реалізації паттерна – builder;
- TransactionRepository - інтерфейс, який реалізує патерн репозиторію - тобто взаємодія з базою даних за допомогою моделей;
- TransactionService - клас-обгортка над transactionRepository (для логування);
- ClientController - клас, який реалізує REST API (надання HTTP 2.0 точок доступу до сервісу);
- SandboxApplication-Execution - клас всього додатку (запускає app);
- ObjectMapperConfig - налаштування REST API серіалізації запитів;
- WebConfig - підключення серіалізації запитів;
- WebSecurityConfig - налаштування web security для додатка.

Висновки. У статті виконано дослідження підходів проектування моделей з використанням Amazon Web Services, проведено порівняльний аналіз використання хмарних серверів. На основі проведеного аналізу зроблено висновок про доцільність використання AWS при розробці додатків з використанням безсерверних сервісів для забезпечення масштабування та адаптивності.

Розроблена система з використанням AWS, яка призначена для розробки, проектування та модернізації сучасних «локальних» бізнес моделей, задля підвищення ефективності та економії ресурсів, як приклад розроблено інтернет магазин. Дана робота корисна при проектування та створенні IT бізнес моделі.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Suyog Bankar .Cloud Computing Using Amazon Web Services (AWS) / Bankar Suyog // International Journal of Trend in Scientific Research and Development

- (ijtsrd), ISSN: 2456-6470.2018.Volume-2, Issue-4.p.2156-2157.
URL: <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd14583.pdf>
2. Abdullah Alqahtani, Hina Gull. Cloud Computing and Security Issues/ Alqahtani Abdullah, Gull Hina // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 22. 2018. p. 16077-16084. URL https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n22_87.pdf
3. Inc. Amazon Web Services. Amazon [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aws.amazon.com/> (дата звернення: 12.02.2021)
4. Документация по Azure: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/?product=featured> (дата звернення: 12.02.2021)
5. Build solutions on Google Cloud: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cloud.google.com/docs> (дата звернення: 12.02.2021)

REFERENCE

1. Suyog Bankar .Cloud Computing Using Amazon Web Services (AWS) / Bankar Suyog // International Journal of Trend in Scientific Research and Development (ijtsrd), ISSN: 2456-6470.2018.Volume-2, Issue-4.p.2156-2157.
URL: <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd14583.pdf>
2. Abdullah Alqahtani, Hina Gull. Cloud Computing and Security Issues/ Alqahtani Abdullah, Gull Hina // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 22. 2018. p. 16077-16084. URL https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n22_87.pdf
3. Inc. Amazon Web Services. Amazon [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aws.amazon.com/> (the date of application: 12.02.2021)
4. Документация по Azure: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/?product=featured> (the date of application: 12.02.2021)
5. Build solutions on Google Cloud: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cloud.google.com/docs> (the date of application: 12.02.2021)

Received 29.04.2021.
Accepted 05.05.2021.

Проектування ІТ бізнес моделі на основі безсерверних сервісів

Аналіз існуючих хмарних сервісів, які надають можливість створення безсерверних сервісів для проектування систем та зберігання даних, забезпечують кібербезпеку мережових додатків. Розроблена система з використанням AWS (Amazon Web Services), яка призначена для розробки, проектування та модернізації сучасних «локальних» бізнес моделей, задля підвищення ефективності та економії ресурсів.

Design of it business model on the basis of serverless services

The last researches and publications analysis. Cloud technologies are rapidly deploying in the information technology market due to the virtualization of the hardware environment and the desire of businesses to become more mobile. Amazon Web Services (AWS) is a cloud environment that has low advantages: it does not limit the number of I / O operations per second (IOPS) by partition size. The AWS relational database service supports managed databases for MySQL, PostgreSQL, MariaDB, Oracle and MS SQL as part of its RDS offering. AWS has its own databases compatible with MySQL and PostgreSQL, which have performance like Oracle, but are available for a small fee. Azure is a mature cloud platform with a wide range of features that can be the best platform for customers who somehow already use the products. Microsoft. Although Azure supports a number of services based on open source products, Microsoft's portfolio in the cloud is what sets it apart from the competition. Google Cloud Platform (GCP) has the smallest market share among public cloud computing providers In terms of computing, Google has the fewest types of virtual machines (28 types of instances in 4 categories), but nevertheless, GCP allows users to create their own custom dimensions (processor, memory) so that customers can compare the size of their cloud loads with their size at the previous stage.

The aim of the research. Creating a modern business model using server-free services and researching approaches to its development using Amazon Web Services (AWS).

The main research material.

The paper develops a contextual model of creating an online store according to the methodology IDEFO (methodology of functional modeling and graphical notation, designed to formalize and describe business processes), which describes the main stages of creating an online store. Developed Use Case (use case), which determines the requirements of the user, the interaction of individual parts (modules) of systems, describes the interaction of people and companies in real life. At the design stage, a diagram of activities is developed, which reflects the order of action of objects in time and the presentation of temporal features of transmission and reception of messages between objects. The IT business model is implemented in JavaScript, HTML, CSS and with the help of IntelliJ IDEA, PostgreSQL, Spring boot, Hibernate, Thymeleaf, CUBA platform, AWS technologies.

Conclusions. The article presents a comparative analysis of the use cloud technologies. Based on the analysis of model design approaches, a conclusion was made about the feasibility of using AWS in the development of applications using server-free services to ensure scalability and adaptability. Developed a system using AWS, which is designed to develop, design and upgrade modern "local" business models, to increase efficiency and save resources, as an example, developed an online store.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Руденко Вячеслав Павлович – студент Національної металургійної академії України (НМетАУ).

Царик Владислав Юрійович – аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Гнатушенко Виктория Владимировна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Руденко Вячеслав Павлович студент Национальной металлургической академии Украины.

Царик Владислав Юрьевич – аспирант, ассистент кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Hnatushenko Viktoriia – Doctor of engineering's sciences, Professor, Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Rudenko Vyacheslav – the student of National Metallurgical Academy of Ukraine.

Tsaryk Vladyslav – Postgraduate Student, Assistant Professor, Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Л.О. Кіріченко, Є.Д. Степаненко, Д.Є. Яндуков

КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РЕКУРЕНТНИХ ДІАГРАМ

Анотація. У статті описано новий підхід до класифікації часових рядів на основі їх візуалізації. Часовий ряд подається у вигляді чорно-білого зображення своєї рекурентної діаграми. В якості класифікатора зображень використовується згорткова нейронна мережа. Даними для класифікації є реалізації електрокардіограм, які містять записи здорових людей та пацієнтів з діагнозом ішемія. Результати досліджень вказують на добру точність класифікації порівняно з іншими методами та потенційні можливості цього підходу.

Ключові слова: класифікація, часовий ряд, рекурентна діаграма, згорткова нейронна мережа.

Вступ і мета. В даний час для класифікації часових рядів широко використовується машинне навчання. Найчастіше, після попередньої обробки часового ряду, з нього витягується набір деяких ознак, які подаються на вхід класифікатора. У той же час в останні десятиліття широке поширення набули методи аналізу часових рядів, які базуються на методах хаотичної динаміки. Одним з методів, що беруть початок в нелінійної динаміки, є рекурентний аналіз (метод рекурентних діаграм), спочатку запропонований в [1], який набув широкого поширення і розвиток, зокрема, в роботах [2,3]. Рекурентна діаграма містить інформацію про повторюваності станів динамічної системи, представленої часовим рядом. Рекурентні властивості можна візуалізувати у вигляді геометричних структур і наочно уявити динаміку ряду. Таким чином метод рекурентних діаграм перетворює часові ряди в зображення, які можна класифікувати методами комп'ютерного зору [4-6].

Метою представленої роботи є проведення класифікації електрокардіографічних реалізацій (ЕКГ) на основі візуалізації рекурентних діаграм за допомогою згорткової нейронної мережі. ЕКГ широко використовується для функціонального дослідження серцево-судинної системи і своєчасне виявлення захво-

рювання за даними ЕКГ відіграє важливу роль в запобіганні серцево-судинних хвороб.

Рекурентні діаграми. Рекурентний аналіз є методом нелінійної динаміки, що використовуються для виявлення неочевидних залежностей в динаміці ряду та базується на фундаментальній властивості дисипативних динамічних систем – рекурентності (повторюваності станів).

Нехай точка $x(i)$ відповідає i -й точці фазової траєкторії, що описує обрану динамічну систему у m -мірному просторі, для $i = 1, \dots, N$, тоді рекурентна діаграма є матрицею точок $N \times N$, де ненульовий елемент з координатами (i, j) відповідає випадку, коли $x(j)$ достатньо близько до $x(i)$. Іншими словами, рекурентними є стани x_j , які потрапляють в m -вимірну околицю з радіусом ε і центром в x_i . Ці точки x_j називаються рекурентними. Довільно взята рекурентна точка не несе якої-небудь корисної інформації про стани в часи i і j . Тільки вся сукупність рекурентних точок дозволяє відновити властивості системи [1,2].

Згорткові нейронні мережі. Згорткова нейронна мережа являє собою особливу архітектуру штучних нейронних мереж, націлену на ефективне розпізнавання образів. Згортка – це лінійне перетворення, що застосовується до квадратного вікна та плавно переміщується по вхідним даним, при цьому пікселі з вікна скалярно перемножуються на матрицю згортки.

Ідея сверточних нейронних мереж полягає в чергуванні згорткових, субдискретизуючих і звичайних шарів нейронної мережі. Структура мережі є односпрямованою (без зворотного зв'язку), принципово багат шаровою. Для навчання використовуються стандартні методи, найчастіше метод зворотного поширення помилок. Функція активації нейронів може бути різною, залежно від завдання. Архітектура мережі отримала свою назву через операцію згортки, суть якої полягає в тому, що кожен фрагмент зображення множиться на матрицю (ядро) елемента згортки, а результат підсумовується і записується в одну і ту ж позицію в вихідне зображення [7,8].

Мережа працює наступним чином. Зображення проходить через ряд згорткових, нелінійних шарів, шарів, що об'єднують та повнозв'язних шарів та генерується висновок. Висновок може бути меткою класу або ймовірністю класів, які найкраще описують зображення.

Перший шар в мережі завжди є згортковим. Це набір функціональних карт однакового розміру. Кожна карта має синаптичне ядро, яке є вікном, яке ковзає по всій області попередньої карти і знаходить певні ознаки об'єктів.

Нейрони на першому згортковому шарі не пов'язані з кожним пікселем вхідного зображення, а тільки з пікселями у власних рецепторних полях. У свою чергу нейрон на другому згортковому шарі пов'язаний тільки з нейронами, які знаходяться всередині невеликого прямокутника в першому шарі. Така архітектура дозволяє мережі зосередитися на низькорівневих ознаках в першому прихованому шарі, щоб далі компонувати їх в ознаки більш високого рівня.

Вихід першого рівня є вхідним значенням другого рівня. Після застосування набору фільтрів після першого шару будуть активовані фільтри, які представляють властивості вищого рівня. Чим більше згорткових шарів проходить зображення, і чим далі воно переміщається по мережі, тим складніші характеристики відображаються на картах об'єктів.

Після згорткових шарів йде шар, що об'єднує, основне завдання якого - прорідити вхідне зображення для зменшення обчислювального навантаження, витрат пам'яті і кількості параметрів, зменшуючи ризик перенавчання.

Останній тип шару - це шар звичайного багат шарового персептрона. Метою шару є класифікація, він моделює складну нелінійну функцію, оптимізація якої підвищує якість розпізнавання. Вихідний шар пов'язаний з усіма нейронами попереднього шару. Кількість нейронів відповідає кількості розпізнаних класів.

Опис експерименту і результати. Для обчислювального експерименту було обрано датасет з часовими рядами з репозиторію «UEA & UCR Time Series Classification Repository», назва датасету – «ECG200» [9].

В ньому містяться медичні часові ряди, що отримані з електрокардіограми. Ряди розбиті на два класи: «норма» та «ішемія», що показано на рис. 1 [9]. В датасеті є 200 виборок: 100 для тренування класифікатора та 100 для перевірки. В кожному часовому ряду по 100 значень. Кожний часовий ряд простежує електричну активність, записану під час серцебиття.

Отже, ми маємо задачу бінарної класифікації медичних часових рядів. Виконаємо класифікацію рядів за їхніми рекурентними діаграмами. На рис. 2 наведено приклади часових рядів з датасету, а на рис. 3 наведено приклади відповідних рекурентних діаграм.

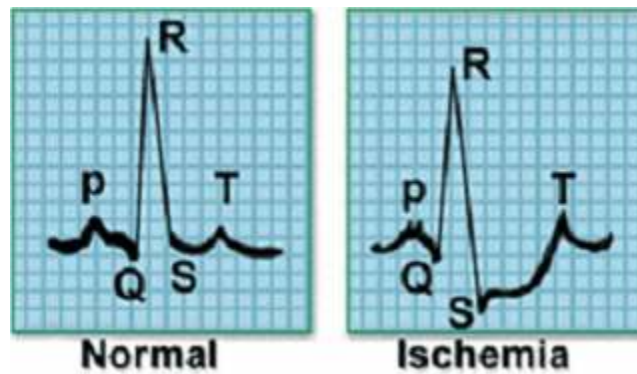


Рисунок 1 – ЕКГ, «норма» та «ішемія»

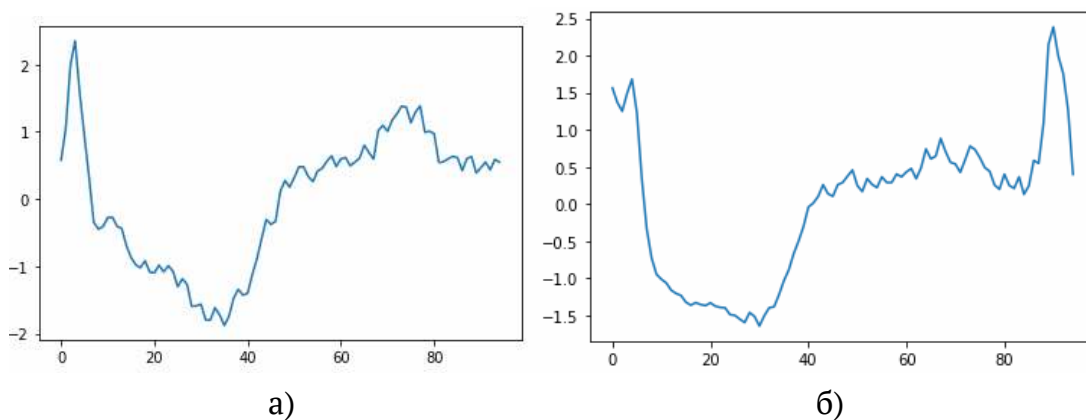


Рисунок 2 – Приклади часових рядів а) клас «норма»; б) клас «ішемія».

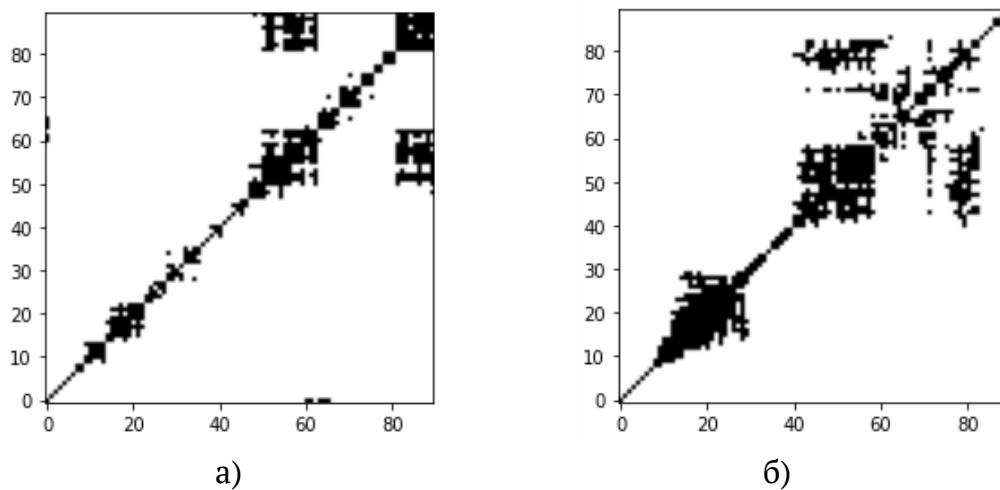


Рисунок 3 – Рекурентні діаграми а) клас «норма»; б) клас «ішемія»

Для проведення класифікації була вибрана мова Python. Python – це об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня. Це мова з відкритим кодом, що містить багато бібліотек для обробки і графічного зображення даних. Python відноситься до найбільш затребуваних і популярних мов програ-

мування, про що свідчать численні рейтинги та аналіз пропозицій на ринку розробки програмних продуктів [10].

Вхідні часові ряди ЕКГ для навчальної та тестової вибірки були перетворені в зображення рекурентних діаграм, які класифікувались за допомогою нейронної мережі. Для створення нейронної мережі була використана бібліотека «Keras», яка є найпопулярнішою для створення нейронних мереж. Розроблена згорткова нейронна мережа містить вісім шарів. Нелінійна функція ReLU застосовується до вихідних даних кожного згорткового і повнозв'язну шару. В якості методу навчання був обраний метод стохастичної оптимізації ADAM.

Точність результатів класифікації різними метриками наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Точність класифікатора різними метриками

	Precision	Recall	F1-score
Class 0	0,93	0,72	0,81
Class 1	0,86	0,97	0,91
Accuracy			0,88

Точність класифікатора із застосуванням рекурентних діаграм сягнула 88%. Слід зазначити, що в описі набору даних було вказано, що найкраща точність класифікації цих даних була отримана за допомогою класифікатора Bag-of-SFA-Symbols (BOSS) і дорівнювала 89% [9]. Хоча точність нашого класифікатора дещо менша, ми використовували просту нейронну мережу. Очевидно, що при використанні глибокої нейронної мережі, спрямованої на розпізнавання чорно-білих зображень, точність класифікації буде вище.

Висновки. У статті обговорювався метод класифікації часових рядів, заснований на розпізнаванні чорно-білих зображень. Як зображення, що відповідають часовим рядам, використовувались їхні рекурентні діаграми.

Вхідними даними для експерименту були часові ряди ЕКГ, що містили 100 значень, які були розділені на два класи: «нормальний» та «ішемія». Класифікація зображень проводилася за допомогою згорткової мережі.

Класифікація ЕКГ дозволяє виявити взаємозв'язок між її характеристиками і видом захворювання і запропонувати найбільш ефективний спосіб діагностування.

REFERENCES

1. Eckmann, J. P., Kamphorst, S. O., Ruelle, D.: Recurrence plots of dynamical systems. *Europhysics Letters* 4(9), 973-977 (1987).
2. Marwan, N., Wessel, N., Meyerfeldt, U., Schirdewan, A., Kurths, J.: Recurrence-plots-based measures of complexity and application to heart-rate-variability data. *Physical Review E* 66(2), 026702-1-026702-6 (2002).
doi: 10.1103/PhysRevE.66.026702
3. Marwan, N., Romano, M. C., Thiel, M., Kurths, J.: (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics reports* 438(5-6), 237-329 (2007).
4. Kirichenko, L., Radivilova, T., Bulakh, V.: Classification of fractal time series using recurrence plots. In 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T) 2018 October, Kharkiv, Ukraine, IEEE, 719-724 (2018). doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632010
5. Kirichenko L., Zinchenko P., Radivilova T., Tavalbeh M. Machine Learning Detection of DDoS Attacks Based on Visualization of Recurrence Plots. *Conflict Management in Global Information Networks (CMiGIN 2019): Proceedings of the International Workshop, Kyiv, Ukraine. Ceur*, 2019. P. 23–34.
6. Kirichenko L., Zinchenko P., Radivilova T. Classification of Time Realizations Using Machine Learning Recognition of Recurrence Plots. In: Babichev S., Lytvynenko V., Wójcik W., Vyshemyrskaya S. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, vol 1246. Springer, Cham, pp. 687-696.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3_44.
7. Y. LeCun and Y. Bengio: Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series, in Arbib, M. A. (Eds), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, MIT Press, 1995
8. Ciresan, Dan; Ueli Meier; Jonathan Masci; Luca M. Gambardella; Jurgen Schmidhuber "Flexible, High Performance Convolutional Neural Networks for Image Classification" *Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence-Volume 2*: 1237–1242. 2013
<http://people.idsia.ch/~juergen/ijcai2011.pdf> last accessed 2019/08/20
9. Time series classification, <http://www.timeseriesclassification.com> last accessed 2019/28/0216
10. D. Cielen, A. Meysman, M. Ali *Introducing Data Science: Big Data, Machine Learning, and more, using Python tools*, Manning Publications, 2016, 325 p.

Received 03.05.2021.
Accepted 05.05.2021.

Класифікація часових рядів із використанням рекурентних діаграм

У статті описано новий підхід до класифікації часових рядів на основі їх рекурентних діаграм. В якості класифікатора зображень використовується згортова нейронна мережа. Дані для класифікації є реалізації електрокардіограм. Результати досліджень вказують на добру точність класифікації порівняно з іншими методами та потенційні можливості цього підходу.

Time series classification using recurrence charts

The article describes a new approach to the classification of time series based on their recurrence plots. A convolutional neural network is used as an image classifier. The data for classification are the realizations of electrocardiograms. Research results indicate good classification accuracy compared to other methods and the potential of this approach.

Кіріченко Людмила Олегівна - д.т.н., професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Степаненко Євгенія Дмитрівна - магістрантка кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Яндуков Дмитро Євгенович – аспірант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Кириченко Людмила Олеговна - д.т.н., професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Степаненко Евгения Дмитровна - магістрантка кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Яндуков Дмитрий Евгеньевич - аспірант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Kirichenko Lyudmila Olegovna - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Mathematics, Kharkiv National University of Radio Electronics.

Stepanenko Evgeniya Dmitrovna - Master's student of the Department of Applied Mathematics, Kharkiv National University of Radio Electronics.

Yandukov Dmitry Evgenievich - postgraduate student of the Department of Applied Mathematics, Kharkiv National University of Radio Electronics.

Л.І. Цвіркун, С.М. Ткаченко, Л.В. Бешта

**АЛГОРИТМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ
ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ
ПЕРЕДПІКОВОГО ВМИКАННЯ**

Анотація. Розглянуто проблему застосування алгоритмів керування насосними агрегатами вугільної шахти при дотриманні методу передпікового вмикання відповідно до графіка навантаження енергосистеми. Виконано аналіз алгоритмів вмикання насосних агрегатів в оптимальному режимі навантаження енергосистеми в залежності від тарифних зон. Обґрунтовано, що в умовах шахти імені М.І. Сташкова доречним є алгоритм керування по трьох точках, що відрізняється високою точністю і надійністю організації роботи водовідливу. Показано, що запропонований алгоритм дозволяє розподілити процес відкачування протягом доби так, щоб результуючі грошові витрати виявилися мінімальними.

Ключові слова: алгоритми, водовідлив, насосний агрегат, енергосистема, метод передпікового вмикання.

Постановка проблеми. Комплекс водовідливу – одне з найбільш відповідальних ланок технологічного процесу видобутку вугілля. Приплив шахтних вод відбувається постійно і води необхідно відкачувати навіть в тому випадку, коли не ведеться видобуток корисних копалин. Зупинка насосних агрегатів (НА) внаслідок аварії або інших позаштатних ситуацій може призвести до затоплення шахти. Тому комплекси водовідливу (кількість насосних агрегатів, їх продуктивність, кількість і обсяг водозбірників) розраховуються з більш ніж дворазовим запасом [1].

Системи водовідливу вугільних шахт – це потужні споживачі електричної енергії. Частка електроенергії, яка припадає на живлення шахтних водовідливних установок, за різними оцінками становить 20-30% від загальних річних витрат електричної енергії гірничорудного підприємства. В середньому для шахт Донбасу на 1т видобутого вугілля необхідно відкачати до 1 м³ води [2].

Ефективність водовідливу в значній мірі визначає собівартість кінцевого продукту. При оплаті електроенергії гірничодобувним підприємством по двох-

ставковому тарифу істотну частину складає плата за заявлену потужність в години максимуму навантажень в енергопостачальній системі.

Вартість електроенергії змінюється протягом доби згідно регламентуючих документів НКРЕКП. Це дозволяє енергогенеруючим компаніям забезпечити більш рівномірний темп споживання електричної енергії та, таким чином, ефективне використання електроустаткування. Одночасно, наявність накопичувачів шахтних вод дозволяє розподілити процес відкачування протягом доби так, щоб результуючі грошові витрати виявилися мінімальними. Комплекс водовідливу, таким чином, перетворюється на розряд споживачів-регуляторів електроенергії [1].

Аналіз останніх досліджень. В даний час задача енергоефективного використання шахтних водовідливних установок з метою зниження навантаження на енергетичні системи в пікові часи навантаження являє собою важливу науково-практичну задачу, актуальність якої все збільшується. Її вирішенню були присвячені праці багатьох вчених в області осушення родовищ: Праховніка О.В., Разумного Ю.Т., Шевчука С.П., Яценко О.М., Ковалю О.М., Паламарчука М. В. і ін. Виконані ними дослідження і розробки являють собою науково-практичну основу для вирішення цієї задачі. В даних роботах розглянуті питання керування енергоспоживанням водовідливних установок, доцільності децентралізованого електропостачання вугільних шахт, а так само запропоновані рішення по формуванню раціонального графіка роботи водовідливних установок.

Метою даної роботи є вибір та обґрунтування алгоритмів автоматизованого передпікового керування насосними агрегатами водовідливу шахти імені М.І. Сташкова з точки зору оптимального режиму навантаження енергосистеми в залежності від тарифних зон.

Виклад основного матеріалу. Нерівномірність споживання електричної енергії викликає збільшення вартості її виробництва і передачі, що в свою чергу, призводить до зростання витрат споживачів енергії.

В даний час енергосистема зобов'язує підприємства знижувати навантаження в години максимуму. Це призводить до певних труднощів при виконанні виробничих планів і зниження техніко-економічних показників діяльності підприємства. Пошуки вирішення даного завдання привели до необхідності введення системи плаваючих тарифів на електроенергію, що стимулюють її позапікове споживання. При плаваючому тарифі споживач, який зацікавлений в зниженні витрат, вживає заходи до зменшення потужності в

періоди максимуму навантаження енергосистеми, а в решту часу доби залишається вільним у виборі режиму роботи.

На даний момент для промислових підприємств діють трьохзонні тарифи на електроенергію з виділенням тарифних коефіцієнтів для пікової, напівпікової і нічної зон [3].

Одним з рішень для зниження загального електроспоживання шахти є виділення споживачів-регуляторів – таких комплексів і ланок технологічного процесу, регулювання графіка роботи яких дозволяє вирівнювати графік навантаження енергосистеми підприємства.

На підприємствах вугільної промисловості заходи щодо створення споживачів-регуляторів зводяться як до організації технологічних процесів відповідно до графіків навантажень енергосистем, так і до повного або часткового відключення енергоємних споживачів на періоди максимуму. До останніх в основному відносяться споживачі з переривчастим режимом роботи, серед яких особливе місце займає шахтний водовідлив.

Організацію роботи водовідливних установок відповідно до графіка навантаження енергосистеми можна здійснювати різними способами керування, можливість і ефективність застосування кожного з яких визначаються конкретними умовами експлуатації.

Виробки шахти ім. М.І. Сташкова пролягають через водоносні горизонти, тому шахта має значний водоприплив (середньогодинне значення – близько 1200 м³/год). У міру освоєння шахтного поля водоприплив буде збільшуватися.

Комплекс водовідливу шахти складається з центральної насосної камери горизонту -225 м, в якій встановлено 10 насосних агрегатів ЦНС 300×300 (потужність 450 кВт), насосної камери горизонту -300 м, в якій встановлено 5 насосних агрегатів ЦНС (Ш) 300×360 (потужність 560 кВт) і флангових насосних.

Для забезпечення економічно раціонального режиму роботи водовідливних установок (їх зупинки в період максимуму енергосистеми) необхідно, щоб ємність водозбірника вміщала весь приплив води шахти за час максимуму, величина і початок якого встановлюються енергосистемою.

При застосуванні методу передпікового вмикання НА забезпечується повне або часткове звільнення водозбірника від води до початку періоду максимуму навантаження енергосистеми, чим створюються умови для позапікового споживання електроенергії [5]. Метод вимагає, щоб був звільнений такий об'єм водозбірника, який гарантовано не призведе до переповнення, незважаючи на

коливання притоку у діапазоні, притаманному умовам гірничої виробки, а у даному випадку – умовам виробок шахти ім. М.І. Сташкова.

У випадку застосування такого методу передпікове керування насосними агрегатами може здійснюватися різними алгоритмами в залежності від необхідної точності звільнення водозбірника до початку періоду максимуму, а саме:

- примусовим включенням з подальшим регулюванням подачі установки;
- керуванням по трьох точках;
- примусовим включенням за часом.

Розглянемо докладніше наведені способи.

Алгоритм примусового включення з подальшим регулюванням швидкості відкачування води. Повне або часткове звільнення водозбірника до моменту початку періоду максимуму навантаження енергосистеми може досягатися шляхом примусового вмикання насосних агрегатів в період, що передує періоду максимуму. З рис. 1 видно, що для повного звільнення водозбірника $V_{\min}$ до початку періоду максимуму t_m слід провести примусове вмикання насосного агрегату в момент часу t_l або в момент t_l' для графіка, показаного штриховими лініями. Припустимо, що закон зміни об'єму води в водозбірнику при працюючій водовідливній установці відомий і заданий лінією АВ (рис. 1). Якщо поєднати кінець цієї лінії з початком періоду максимуму навантаження енергосистеми, то її ординати можна вважати заданими значеннями обсягу води в водозбірнику в часі в передпіковий період. При досягненні фактичним обсягом води обсягу, заданого лінією АВ (точка С), слід провести примусове вмикання водовідливної установки, після чого (якщо фактичний закон зміни об'єму води відповідає заданому лінією АВ) водозбірник повністю звільняється до початку періоду максимуму навантаження.

Алгоритм досить простий з точки зору автоматизації, але в умовах шахти ім. М.І. Сташкова неприйнятний через слабку прогнозованість коливань притоку [5]. Це унеможливорює точні розрахунки моментів t_l і t_l' у процесі застосування засобів автоматизації.

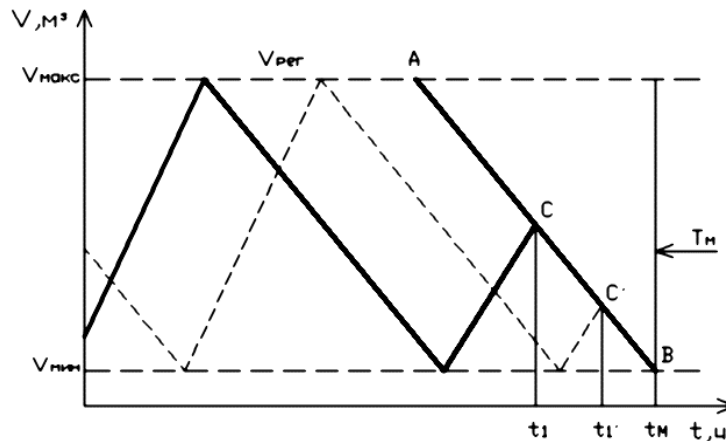


Рисунок 1 - Організація роботи водовідливної установки при проходженні максимумів навантажень

Алгоритм керування водовідливом по трьох точках. При постійних значеннях припливу води і продуктивності установки для повного звільнення водозбірника від води до початку періодів T_{m1} , T_{m2} максимуму навантаження енергосистеми (рис. 2), слід примусово вмикати водовідливну установку в визначені моменти часу t_1 і t_5 , які при заданих умовах не змінюють свого положення з доби в добу.

При заданому алгоритмі керування перед кожним періодом максимуму навантаження енергосистеми визначається місцезнаходження на осі часу точки С (момент досягнення нижнього рівня водою в водозбірнику за умови, що $t_m - t_4 < T_{\text{ц}}$), після чого період часу $T_{\text{ц}}' = t_m - t_4$, укладений між точками С і Е, ділиться на k частин, де k визначається як відношення $T_{\text{ц}}$ до T_3 . Після закінчення отриманого значення часу з моменту, відповідного точці С, проводиться примусове вмикання установки (точка D) автоматично (при наявності спеціального пристрою) або дистанційно диспетчером.

З метою підвищення точності функціонування системи при змінах припливу і подачі насосної установки, визначення величини коефіцієнта k доцільно проводити перед кожним періодом максимуму навантаження енергосистеми.

Розглянутий алгоритм вигідно відрізняється від попереднього тим, що, за рахунок незначного ускладнення підходу, об'єм води у водозбірнику утримується у межах прогнозованого. Тому останнє передпікове вмикання є окремим випадком, що відповідає способу 1, але тут гарантується виконання умови методу щодо звільнення необхідного об'єму водозбірника за рахунок

досягнення прогнозованого об'єму води перед останнім передпіковим вмиканням.

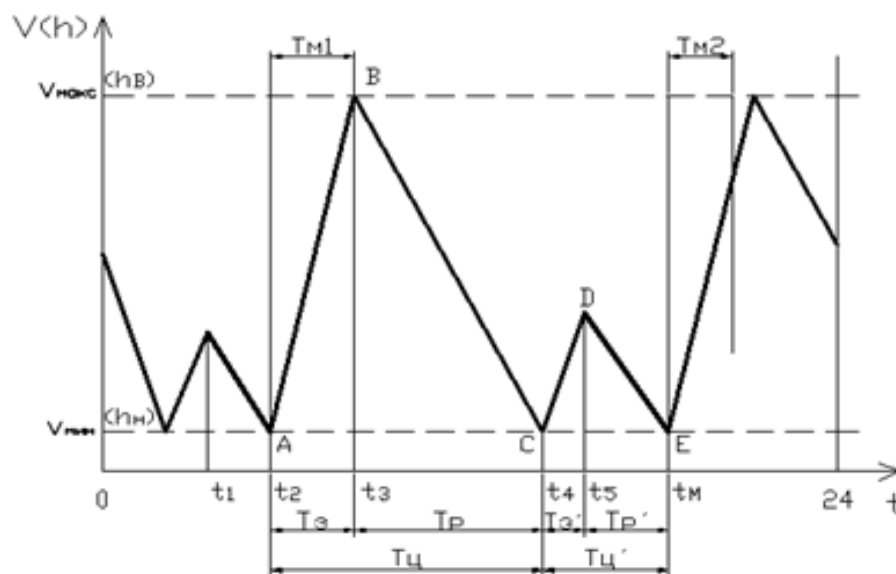


Рисунок 2 - Організація роботи водовідливної установки при керуванні по трьох точках, де $T_{ц}$ і $T_{ц}'$ – тривалість відповідно повного і передпікового циклів роботи водовідливної установки; $T_{з}$ і $T_{з}'$ – тривалість відповідно заповнення водозбірника в повному і передпіковому циклах; $T_{р}$ і $T_{р}'$ – час продуктивної роботи насосного агрегату відповідно в повному і передпіковому циклах

Алгоритм примусового вмикання за часом. Принцип дії такого алгоритму керування заснований на тому, що при одному і тому ж моменті примусового вмикання водовідливної установки існує два значення припливу води Q_1 і Q_2 , при яких система функціонує безпомилково в режимі регулятора навантаження енергосистеми. Цим значенням притоку (рис. 3) відповідають графіки 1 і 2. В період максимуму навантаження $T_{м1}$ водозбірник заповнюється, потім в момент часу t_2 незалежно від рівня води в водозбірнику вмикається насосний агрегат, звільняючи водозбірник. Після цього водозбірник знову заповнюється, в момент часу t_4 установка вмикається примусово і відкачує воду до початку періоду максимуму навантаження. Значення моменту часу t_4 обирається один раз і зберігається постійним щодоби.

В силу сталості відміток часу t_4 і t_m час роботи водовідливної установки в передпіковий період T_p в даному випадку залишається постійним.

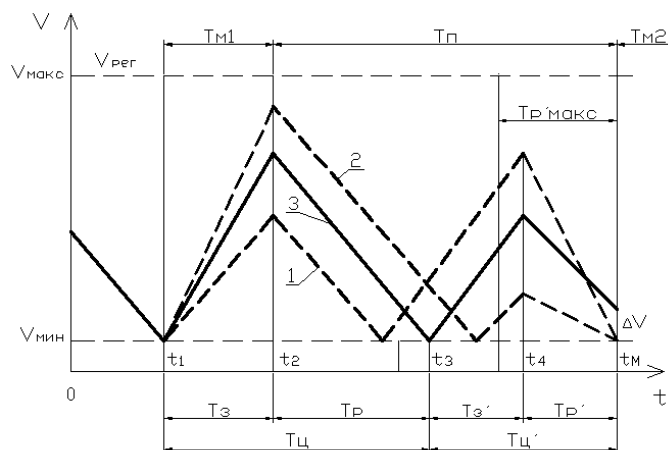


Рисунок 3 - Організація роботи водовідливної установки при вмиканні за часом, де $T_{ц}$ і $T_{ц}'$ – тривалість відповідно повного і передпікового циклів роботи водовідливної установки; $T_{з}$ і $T_{з}'$ – тривалість відповідно заповнення водозбірника в повному і передпіковому циклах; $T_{р}$ і $T_{р}'$ – час продуктивної роботи насосного агрегату відповідно повному і передпіковому циклах; $T_{п}$ – період провалу в графіку навантаження енергосистеми

Даний алгоритм рекомендовано для застосування в умовах маловодних шахт або для керування допоміжним водовідливом, якому притаманні відносно невеликі зміни припливу води і малі гідравлічні потужності [5]. З цих причин, не дивлячись на порівняну простоту, в умовах шахти ім. М.І. Сташкова спосіб неприйнятний.

Висновки. За результатами порівняльного аналізу алгоритмів автоматизованого керування водовідливом з урахуванням періодів максимуму навантаження енергосистеми можна в якості основного способу реалізації методу передпікового вмикання водовідливу рекомендувати спосіб керування водовідливом по трьох точках. Його порівняна складність нівелюється саме застосуванням програмованих засобів автоматичного керування.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение энергоэффективности при эксплуатации комплекса шахтного водоотлива / Д.А.Бешта, А.В.Балахонцев // Проблемы розвитку впровадження інформаційних технологій у наукову та інноваційну сфери освіти. - 2014. - С. 22-24
2. Разумный Ю. Т. Повышение энергоэффективности главной водоотливной установки угольной шахты / Ю. Т. Разумный, Н. Ю. Рухлова, А. В. Рухлов // Нау-

ковий вісник Національного гірничого університету. - 2013. - № 5. - С. 67-72.
Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_5_13.

3. Про тарифи, диференційовані за періодами часу: Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України № 1241 від 20.12.2001 (Редакція станом на 01.01.2019).

4. Ященко А.М., Коваль А.Н., Паламарчук Н. В., Антонов Э.И. Перспективы развития техники и технологии шахтного отлива.//Уголь Украины, №11, 1997 г. - с. 21 - 25.

5. Данильчук, Г. И. Автоматизация электропотребления водоотливных установок/ Г. И. Данильчук, С. П. Шевчук, П. К. Василенко. – К.: Техника, 1981. – 102 с.

6. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением: Вища школа, Киев, 1986, с.76.

7. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом. Электронный ресурс. Режим доступу: http://www.snip-info.ru/Pb_06-111-95.htm

REFERENCES

1. Povyishenie energoeffektivnosti pri ekspluatatsii kompleksa shahtnogo vodootliva / D.A.Beshta, A.V.Balahontsev // Problemi rozvitku vprovadzhennya InformatsIynih tehnologIy u naukovu ta InnovatsIynu sferi osvIti. - 2014. - S. 22-24.

2. Razumnyi Yu. T. Povyishenie energoeffektivnosti glavnoy vodootlivnoy ustanovki ugolnoy shahty / Yu. T. Razumnyi, N. Yu. Ruhlova, A. V. Ruhlov // Naukoviy vIsnik NatsIonalnogo gIrnichogo unIversitetu. - 2013. - # 5. - S. 67-72.
Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_5_13.

3. Pro tarifi, diferentsiyovani za periodami chasu: Postanova Natsionalnoyi komisiyi reguluyuvannya elektroenergetiki Ukrayini # 1241 vid 20.12.2001 (Redaktsiya stanom na 01.01.2019).

4. Yaschenko A.M., Koval A.N., Palamarchuk N. V., Antonov E.I. Perspektivyi razvitiya tehniki i tehnologii shahtnogo otliva.//Ugol Ukrainyi, #11, 1997 g. - s. 21 - 25

5. Danilchuk, G. I. Avtomatizatsiya elektropotrebleniya vodootlivnyih ustanvok/ G. I. Danilchuk, S. P. Shevchuk, P. K. Vasilenko. – K.: Tehnika, 1981. – 102 s.

6. Prahovnik A.V. Avtomatizatsiya upravleniya elektropotrebleniem: Vischa shkola, Kiev, 1986, s.76.

7. Edinyie pravila bezopasnosti pri razrabotke rudnyih, nerudnyih i rossiypnyih mestorozhdeniy poleznyih iskopaemyih podzemnyim sposobom. Elektroniy resurs. Rezhim dostupu: http://www.snip-info.ru/Pb_06-111-95.htm

Received 30.04.2021.
Accepted 07.05.2021.

Алгоритмы энергоэффективного использования шахтных водоотливных установок с применением метода передпикового включения

Рассмотрена проблема применения алгоритмов управления насосными агрегатами угольной шахты при соблюдении метода передпикового включения в соответствии с графиком нагрузки энергосистемы. Выполнен анализ алгоритмов включения насосных агрегатов в оптимальном режиме нагрузки энергосистемы в зависимости от тарифных зон. Обосновано, что в условиях шахты имени Н.И. Сташкова уместным является алгоритм управления по трем точкам, отличающийся высокой точностью и надежностью организации работы водоотлива. Показано, что предложенный алгоритм позволяет распределить процесс откачки в течение суток так, чтобы результирующие денежные расходы оказались минимальными.

Algorithms for energy efficient use of mine drainage plants using before the peak method

The article deals with the problem of using algorithms for controlling the pumping units of a coal mine while observing the method of peak switching in accordance with the load schedule of the power system. It is noted that a mine stepped drainage is a complex hydraulic complex, the pumps of which pump mine water from one horizon to another horizon and then to the surface of the mine. Electric drives for mine drainage units are one of the largest consumers of electricity in the mining and metallurgical complex. These parameters are among the most powerful and critical links of technological equipment, the operation of which determines the level of energy consumption and the safety of work in the extraction of minerals. The total capacity of pumping units is on average 20-30% of the total annual consumption of electrical energy of a mining enterprise and drainage units have a work schedule independent of the extraction technology during the day. Therefore, drainage pumping units can act as consumers-regulators in the power supply system of the enterprise, turning them on or off can reduce the declared capacity of the enterprise, as well as the unevenness of the load schedule of the power system.

The article describes the algorithms for automated control of the drainage pumping unit, taking into account the "peak" loads in the mine power supply system. These include: Forced On Time Algorithm With Subsequent Feed Control, Three Point Control Algorithm And Forced On Time Algorithm. Based on the results of a comparative analysis of algorithms for automated control of drainage, taking into account the periods of maximum load of the power system, it is reasonable that in the conditions of the mine named after M.I. Stashkov, a three-point control algorithm is appropriate, characterized by high accuracy and reliability of the organization of the drainage operation. It is shown that the proposed method allows you to distribute the pumping process during the day so that the resulting cash costs are minimal.

Цвіркун Леонід Іванович – к.т.н., професор кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Бешта Лілія Валеріївна – асистент кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Ткаченко Сергій Миколайович – к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Цвиркун Леонид Иванович – к.т.н., профессор кафедры информационных технологий и компьютерной инженерии Национального технического университета «Днепровская политехника» (г. Днепр).

Бешта Лилия Валериевна – ассистент кафедры информационных технологий и компьютерной инженерии Национального технического университета «Днепровская политехника» (г. Днепр).

Ткаченко Сергей Николаевич – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и компьютерной инженерии Национального технического университета «Днепровская политехника» (г. Днепр).

Tsvirkun Leonid – candidate of technical science, professor of department of information technologies and computer engineering of the National technical university "Dneprovskaya polytechnika", Dnipro, Ukraine.

Beshta Liliia – assistant of department of information technologies and computer engineering of the National technical university "Dneprovskaya polytechnika", Dnipro, Ukraine.

Tkachenko Sergey – candidate of technical science, assistant professor of department of information technologies and computer engineering of the National technical university "Dneprovskaya polytechnika", Dnipro, Ukraine.

А.Г. Батурінець, С.В. Антоненко

ВИЗНАЧЕННЯ СХОЖИХ ГІДРОЛОГІЧНИХ РЯДІВ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРЕЛЯЦІЇ

Анотація. В роботі описано розроблену складову програмного забезпечення для визначення схожих рядів даних, що представлені певними показниками. Основою обчислювальної схеми є обчислення коефіцієнтів кореляції Спірмена та Пірсона. При проведенні аналізу передбачається поетапна оцінка результатів, що дозволяє контролювати хід аналізу та інтерпретувати отримані результати, а також широкий спектр відображення результатів. Представлено результати проведення обчислювального експерименту проведеного за показниками рівня води в період з 01.01.2000р. по 31.12.2014р., в якості досліджуваного ряду обрано дані пункту спостереження розташованого на р. Турія в м. Ковель Волинської обл. За результатами аналізу знайдено три гідрологічні пункти спостережень, дані яких мають сильний кореляційний зв'язок з даними досліджуваного посту, проте лише два з них за значеннями оцінок вважаються дуже схожими.

Ключові слова: коефіцієнти кореляції, схожі ряди даних, гідрологічний моніторинг, інформаційна технологія.

Постановка проблеми. В умовах сучасності важливими є питання дослідження стану водних ресурсів, а тому все більша увага приділяється питанням моніторингу та аналізу отриманих гідрологічних даних для попередження та своєчасного реагування на можливі негативні наслідки. Проте, вже на початку аналізу даних дослідники стикаються з низкою проблем, серед яких недостатня довжина рядів даних спостережень, наявність пропущених значень, тощо. Одним із підходів, що використовується для вирішення зазначених проблем, є використання методів на основі визначення об'єктів із схожими характеристиками та показниками.

Кореляційний аналіз знайшов широке використання при дослідженні зв'язків між рядами даних при розв'язанні задач в різних прикладних областях, зокрема і в гідрологічних дослідженнях. Здебільшого це пов'язано з тим, що з

однієї сторони коефіцієнти кореляції не складні в обчисленні, а з іншої – їх легко інтерпретувати.

Зазвичай, гідрологічні дослідження проводяться з використанням засобів MS Excel, Statistica, Mathlab, Matcad і лише в невеликій кількості досліджень для проведення розрахунків частково використовуються готові спеціалізовані програмні рішення. Ще менша кількість робіт проводиться саме з програмною реалізацією обчислювальних схем та алгоритмів на мовах програмування високого рівня.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання коефіцієнтів кореляції в гідрологічних дослідженнях можна побачити, наприклад, в роботах [1-5]. Аналіз зв'язків гідрологічних показників, зокрема з використанням кореляційного аналізу представлено в роботі [6].

Використання кореляційного аналізу є важливою складовою при визначенні річок-аналогів в гідрологічних розрахунках. Використання значень коефіцієнтів кореляції при відновленні значень стоку за пунктом-аналогом розглядається в роботах [7-8], а в роботі [9] при відновленні середнього річного стоку р. Дніпро обчислюється коефіцієнт кореляції між пунктами-відновлення і пунктами-аналогами. Зокрема і в роботі [10] автором при проведенні аналізу гідрологічних даних та відновленні рядів гідрологічних даних за даними річок-аналогів використовується обчислення значень лінійної кореляції.

Мета роботи. Розробити, описати та реалізувати технологію пошуку схожих гідрологічних постів за рядами даних, що представлені певними показниками, забезпечити оцінку результатів, відображення даних та провести аналіз отриманих результатів.

Основний матеріал. Сутність кореляційного аналізу полягає в розрахунку коефіцієнтів кореляції, які в свою чергу можуть приймати додатні та від'ємні значення, а їх абсолютне значення визначає силу зв'язку між досліджуваними величинами. Знак коефіцієнта кореляції дозволяє визначити направлення зв'язку: при додатних значеннях зв'язок вважається прямим, при від'ємних – зворотнім.

Для розв'язання поставленої задачі обчислюються коефіцієнти кореляції Пірсона та Спірмена. Коефіцієнт кореляції Спірмена є непараметричним аналогом коефіцієнта парної кореляції Пірсона. Зазвичай, в гідрологічних дослідженнях проводяться розрахунки коефіцієнта кореляції Пірсона, що між іншим, зумовлено саме простотою обчислення значень, проте гідрологічні дані зазвичай не є нормально розподіленими.

Від користувача необхідні наступні налаштування: обрати пост, для якого відбуватиметься пошук схожих рядів даних; визначити показник, за яким відбуватиметься аналіз; період, за який дані підлягають аналізу; допустиму кількість пропущених значень ряду (у відсотках, за замовчуванням – 0.25%); параметр для визначення межі відбору коефіцієнтів кореляції (за замовчуванням – 5%); необхідність перетворення вихідних даних: працювати з вихідними даними ряду, середньотижневими або середньомісячними значеннями ряду (за замовчуванням – без перетворень).

На рис.1 представлено схему роботи технології пошуку схожих гідрологічних об'єктів: від отримання вихідних даних до візуалізації результатів.

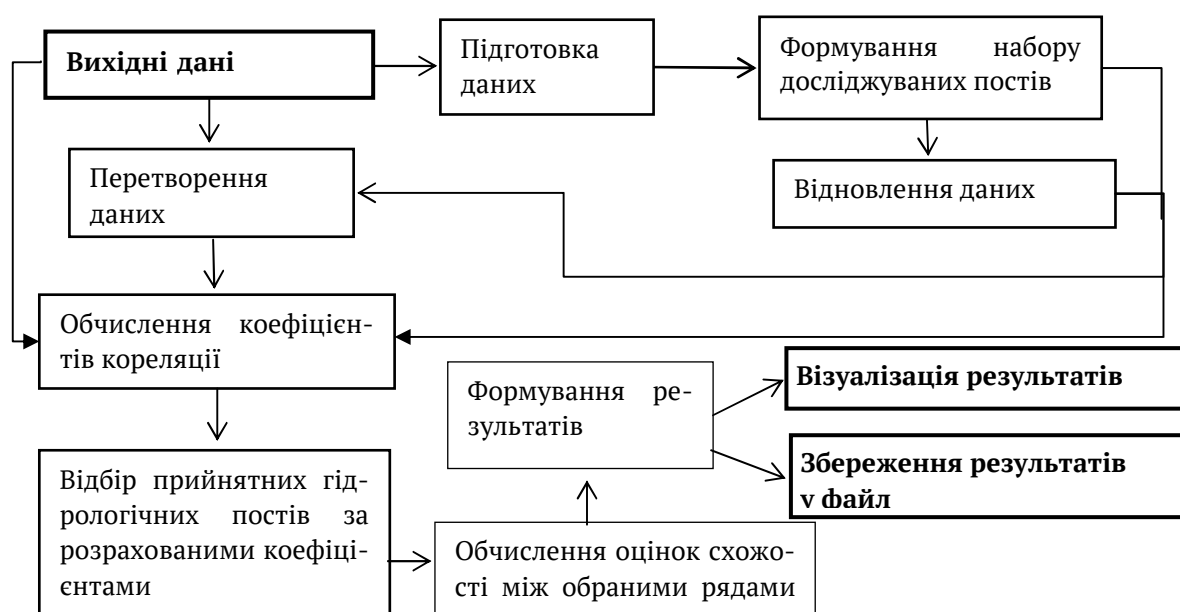


Рисунок 1 – Схема роботи технології визначення схожих рядів даних

Першочергово перевіряються ряди на наявність пропущених в них значень за обраний проміжок часу. Ряди, що містять пропущені значення в кількості, більшій вказаного користувачем відсотку, видаляються із розгляду, а у випадку наявності пропущених значень, менше визначеного користувачем відсотку, відсутні значення відновлюються за допомогою ковзного середнього. *Необхідність включення такої можливості зумовлена ситуацією, якщо, наприклад, ряд має декілька пропущених значень на тисячу наявних показників, тобто відновлені таким чином показники несуттєво впливають на основні характеристики ряду.*

Далі, якщо це визначено користувачем, проводиться перетворення даних (взяття середньотижневих або середньомісячних значень), а в іншому випадку – даний етап пропускається.

Окрім цього, одним з етапів аналізу є повторне обчислення коефіцієнтів кореляції на перетворених рядах даних. Формула перетворення має наступний вигляд:

$$ts_{ik} = \frac{ts_{ij}}{\mu_i},$$

де ts_{ik} – i значення k ряду даних, ts_{ij} – j значення i вихідного ряду, μ_i – середнє значення i вихідного ряду.

Дослідження отриманих рядів після перетворення надає можливість оцінити безпосередньо поведінку рядів та не зважати на їх рівні.

Інтервал відбору найбільш схожих постів з досліджуваним визначається за наступною нерівністю:

$$r_{\max} \leq r \leq r_{\max} - r_{\max} * p,$$

де $r_{\max}$ – максимальне значення серед отриманих коефіцієнтів кореляції, p – задається користувачем. За замовчуванням значення параметра p встановлено 0.05, оскільки саме 5% рівня достатньо для визначення нижньої межі коефіцієнтів кореляції, що задовольнить відбір рядів даних, які мають вищу силу зв'язку з досліджуваним рядом в порівнянні з іншими.

Для оцінки схожості двох рядів даних обрано оцінки, що використовуються при оцінці регресійних моделей, серед яких $MAPE$ та R^2 . Можливість їх застосування зумовлена тим, що їх розрахунок проводиться з використанням наявних даних двох рядів.

- $MAPE$ (середня абсолютна похибка у відсотках) розрахована за формулою:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \hat{x}_i|}{x_i} * 100,$$

де x_i – фактичне значення ряду, $\hat{x}_i$ – значення ряду даних, що є потенційного схожим з досліджуваним.

Будемо вважати, що ряд даних є достатньо схожим на досліджуваний, якщо значення даного коефіцієнта не перевищує 8-10%.

- R^2 – вибіркового коефіцієнта детермінації розрахований за формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\tilde{\sigma}_y^2}{\tilde{\sigma}_y^2} = 1 - \frac{RSS}{TSS},$$

де – сума квадратів залишків, TSS – загальна сума квадратів, розраховані за наступними формулами:

$$TSS = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

де $\bar{x}$ – середнє значення елементів часового ряду, x_i – фактичне значення ряду, $\hat{x}_i$ – значення ряду даних, що є потенційно схожим з досліджуваним.

При цьому вважається, що чим ближче значення коефіцієнта детермінації до 1, тим більш схожими є ряди даних. На достатньому рівні будемо вважати досягнені коефіцієнта детермінації не менше значення 0,5, а при досягненні значення 0,8 будемо вважати знайдений ряд даних схожим на досліджуваний на високому рівні.

Також в даній технології обчислюються оцінки: MSE – середня квадратична похибка, MAE – середня абсолютна похибка. MSE та MAE використовуються як допоміжні оцінки, що не дозволяють однозначно оцінити схожість рядів, але дозволяють визначити найбільш схожий ряд даних з набору.

Як результат користувач отримує представлення результатів на різних етапах аналізу в табличному вигляді (із збереженням у файл) та графічному (діаграма розсіювання, графіки рядів даних).

Обчислювальний експеримент. В якості досліджуваного посту обрано пост 79407, розташований на р. Турія в м. Ковель Волинської області. Для аналізу обрано щоденні значення рівнів води, період спільних спостережень з 01.01.2000р. по 31.12.2014р., тобто для аналізу кожен ряд даних: як досліджуваний, так і ті, що потенційно схожі з ним, повинні мати довжину в 5480 значень. Допустиму кількість пропущених значень встановлено на рівні 0,25%, що для обраного періоду допускає наявність не більше 13 пропущених в кожному ряді даних.

В результатів відбору для аналізу представлено 93 потенційно схожі за обраним показником гідрологічні пости. З графіку рівнів води, що представлений на рис.1, видно, що обрані пости є різними в першу чергу за середніми значенням даних.

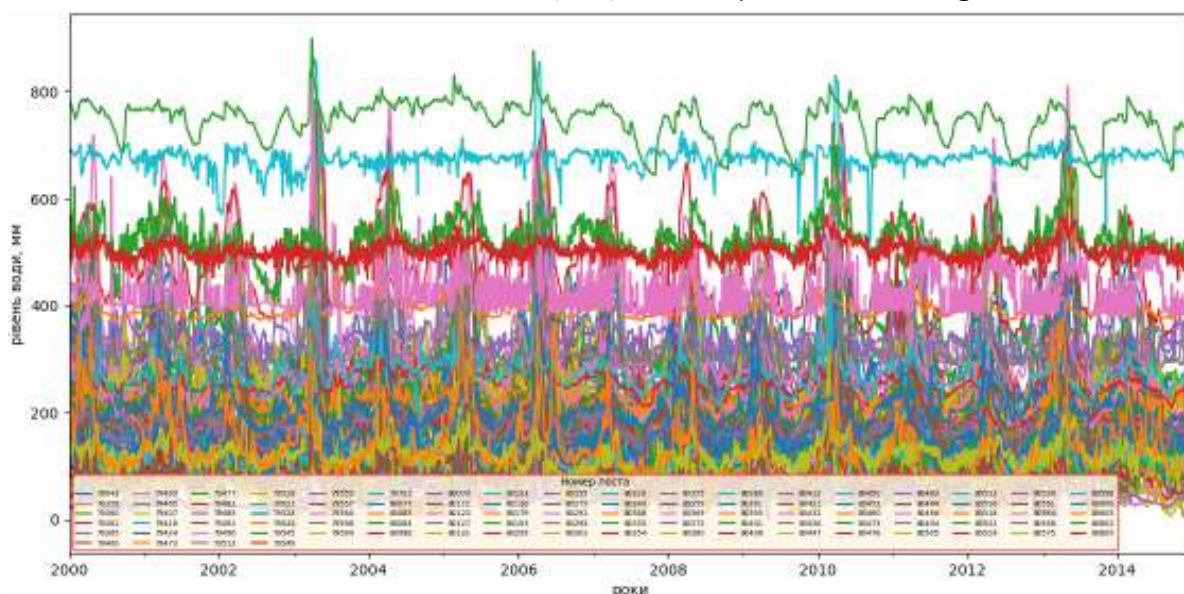


Рисунок 2 – Графік рівнів води з 01.01.2000р. по 31.12.2014р.

В табл.2 наведено значення коефіцієнтів кореляції за вихідними даними для відібраних пунктів спостережень, які обрано в результаті аналізу. Як видно із отриманих значень, ряди даних відібраних пунктів спостережень мають сильний зв'язок з досліджуванним.

Таблица 1

Результати обчислень коефіцієнтів кореляції

Пост	Коефіцієнт кореляції	
	Пірсона	Спірмена
79403	0,84694	0,87559
79405	0,85654	0,86038
79416	0,84474	0,81638

На рис. 3 представлено вихідні дані досліджуваного посту та постів, з якими наявний сильний кореляційний зв'язок. Оскільки застосування коефіцієнтів кореляції має на меті визначення наявності геометричного зв'язку, то як можна побачити на рис.3, пост 79416, на відміну від постів 79407,79403 та 79405, відрізняється рівнями значень ряду.

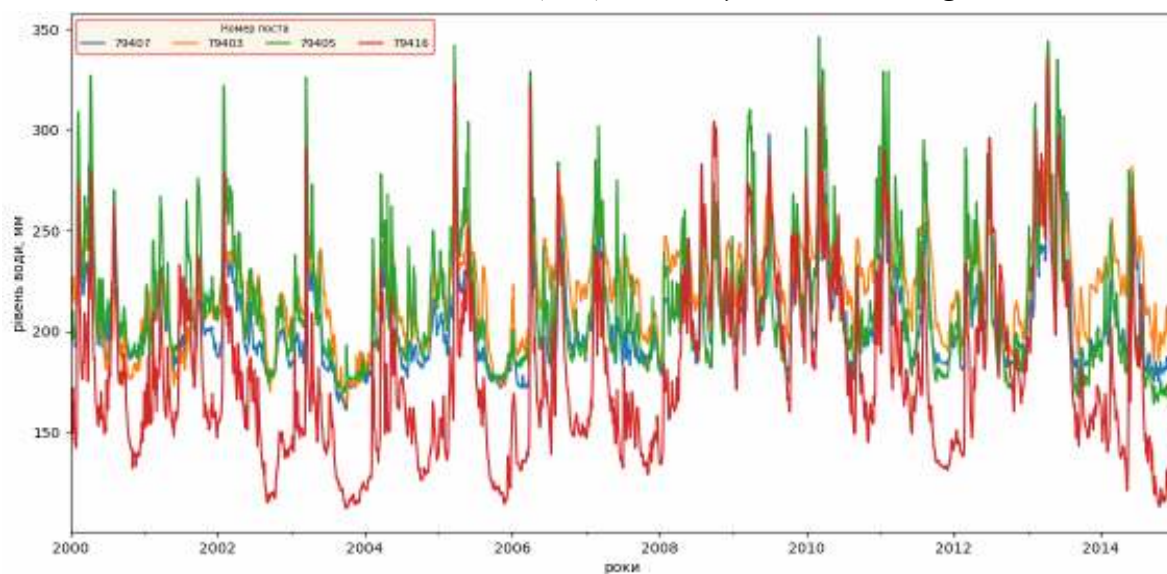


Рисунок 3 – Графік результатів відбору постів по вихідним даним

В табл. 2 представлено оцінки схожості на досліджуваний ряд рядів даних, обраних в результаті аналізу за вихідними даними. Розглядаючи зазначені оцінки, можна сказати, що дані досліджуваного поста та поста 79405 відрізняються на приблизно 6,2%, що є прийнятним результатом, окрім цього коефіцієнт детермінації складає приблизно 64,7% , що є достатньо прийнятним значенням.

Таблиця 2

Оцінки схожості рядів за вихідними даними

Пост	Оцінки			
	MSE	MAE	MAPE, %	R ²
79403	442,8137	18,06352	8,019547	0,255678
79405	384,654	14,27213	6,205114	0,647618
79416	1314,676	31,87315	20,39622	0,255936

Далі проводиться перетворення значень показників ряду діленням на середні значення кожного відповідного ряду. Середні значення досліджуваних рядів складає 205,28 мм для досліджуваного поста, для поста №79403 – 221,41 мм, поста №79405 – 214,18 мм, а для поста №79416 – 179,08 мм.

Як видно на рис.4, після перетворення ряди графічно є більш наближеними один до одного, на відміну від представлення рядів у вихідному вигляді (рис. 3).

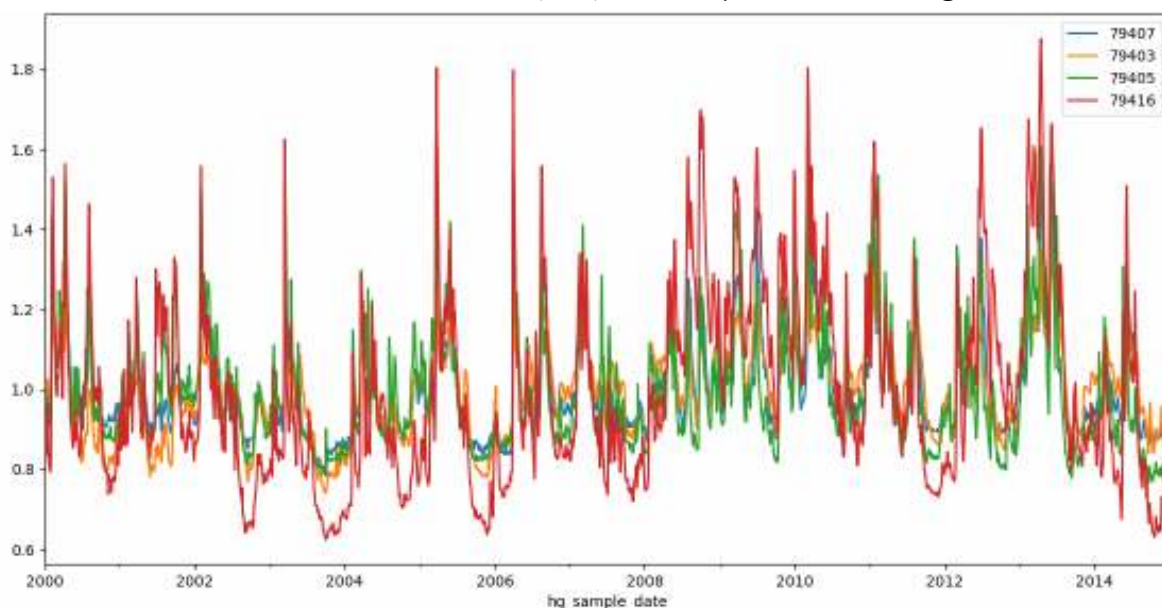


Рисунок 4 – Перетворені ряди даних гідрологічних показників

Як видно з табл.3, розраховані оцінки підтверджують, що ряди, обрані в результаті аналізу, є дуже схожими на показники досліджуваного посту.

Таблиця 3

Оцінки схожості рядів після ділення на середнє значення

Пост	Оцінки			
	MSE	MAE	MAPE, %	R ²
79403	0,0041	0,0499	4,9673	0,6621
79416	0,0220	0,1258	12,4752	0,6000

За результатами аналізу формується файл формату excel, що містить інформацію про всі етапи аналізу: таблиці значень коефіцієнтів кореляції, інформацію про пости (географічні координати, населений пункт, назва річки, на якій розміщено пост, номер гідрологічного об'єкта), характеристики рядів даних, оцінки схожості постів на досліджуваний, тощо. Збереження зазначеної інформації в такому форматі надає змогу використовувати їх для подальшого аналізу та поза межами розроблюваного програмного забезпечення.

Оцінка результатів. Аналізуючи отримані результати, можна дійти висновку, що пост 79405 р. Турія в с. Ягідне Волинської обл. має досить високу схожість за рівнями води з досліджуваним постом за всіма розрахованими оцінками. При цьому, отримані в результаті аналізу значення оцінок свідчать, що пост 79403 р. Вижівка в смт. Стара Вижівка має досить непогані показники середньої похибки апроксимації. Проте після того як ряди було приведено до ну-

льового середнього значення, коефіцієнт детермінації збільшився більше ніж в 2,5 рази (0,2556 до перетворення та 0,6621 після).

Результати даного аналізу свідчать, що показники рівнів води поста 79416 р. Стохід в с. Малинівка Волинської обл. хоча й мають сильний кореляційний зв'язок з рівнями води досліджуваного поста, проте потребують додаткових досліджень, оскільки значення MAPE і коефіцієнта R^2 (табл. 2-3) мають неприйнятні значення.

Варто також зазначити, що за результатами визначення схожих гідрологічних постів за рівнями води, пости, відібрані в результаті аналізу та досліджувані пости розміщені на території однієї області.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Тодорова Е.И. Максимальный сток дождевых паводков рек Горного Крыма // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. – Вип.17. – С.133-140.
2. Ободовський О.Г. та ін. Узагальнення середнього річного стоку води річок відповідно до гідрографічного районування України// Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія» – 2019. – Вип. 51. – С. 158-170.
3. Мозговий А. О. Дослідження кореляційної залежності максимальної товщини льоду за статистичними даними спостережень у водосховищах гідровузлів Дніпровського каскаду // Науковий вісник будівництва – 2018. – Т.– 3 (93). – С. 149-155.
4. Ободовський О.Г. та ін. Середній річний стік води в межах районів річкових басейнів України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія – 2019. – Т. 3. – С. 65-66.
5. Ошурок Д.О., Скриник О.Я., Осадчий В.І. Приведення вимірянних значень швидкості вітру до умов відкритого горизонту // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія – 2019. – Т.3. – С. 139-141.
6. Chen Lu, Singh Vijay P., Guo Shenglian. Measure of correlation between river flows using the copula-entropy method. Journal of Hydrologic Engineering, 2013, 18.12: p. 1591-1606.
7. Мудра К. В. Відновлення стоку води на гідрологічних постах річки Дністер з метою вивчення його довгоперіодних коливань // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т. 2. – С. 30-39.
8. Артеменко В. А., Петрович В. В. Метод восстановления сверхбольших пропусков в гидрологических временных рядах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2015, 93: 150-156.

9. Чорноморець Ю. О., Павленко П. О.; Лук'янець О. І. Відновлення середнього річного стоку води річки Дніпро. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія – 2017. – Т. 4 (47). – С. 36-47.
10. Бажанова Л. В. Оценка гидрологического мониторинга и восстановление стока рек методом парной корреляции // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2018, 3: 134-140.

REFERENCES

1. Hopchenko E.D., Ovcharuk V.A., Todorova E.Y. Maksymalnyy stok dozhdevykh pavodkov rek Hornoho Kryma // Visnyk Odeskoho derzhavnoho ekolohichnoho universytetu. – 2014. – Vyp.17. – S.133-140.
2. Obodovskyi O.H. ta in. Uzahalnennia serednoho richnoho stoku vody richok vidpovidno do hidrohrafichnoho raionuvannia Ukrainy// Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni VN Karazina, seriya «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia» – 2019. – Vyp. 51. – S. 158-170.
3. Mozghovyi A. O. Doslidzhennia koreliatsiinoi zalezhnosti maksymalnoi tovshchyny lodu za statystychnymy danymy sposterezhen u vodoskhovyshchakh hidrovuzliv Dniprovskoho kaskadu // Naukovyi visnyk budivnytstva – 2018. – Т. – 3 (93). – S. 149-155.
4. Obodovskyi O.H. ta in. Serednii richnyi stik vody v mezhakh raioniv richkovykh baseiniv Ukrainy. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia – 2019. – Т. 3. – S. 65-66.
5. Oshurok D.O., Skrynyk O.Ia., Osadchyi V.I. Pryvedennia vymirianykh znachen shvydkosti vitru do umov vidkrytoho horyzontu // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia – 2019. – Т.3. – S. 139-141.
6. Chen Lu, Singh Vijay P., Guo Shenglian. Measure of correlation between river flows using the copula-entropy method. Journal of Hydrologic Engineering, 2013, 18.12: r. 1591-1606.
7. Mudra K. V. Vidnovlennia stoku vody na hidrolohiichnykh postakh richky Dnister z metoiu vyvchennia yoho dovhoperiodnykh kolyvan // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. – 2017. – Т. 2. – S. 30-39.
8. Artemenko V. A., Petrovych V. V. Metod vosstanovleniia sverkhbolshykh propuskov v hidrolohycheskykh vremennykh riadakh // Avtomobilni dorohy i dorozhne budivnytstvo, 2015, 93: 150-156.
9. Chornomorets Yu. O., Pavlenko P. O.; Lukianets O. I. Vidnovlennia serednoho richnoho stoku vody richky Dnipro. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia – 2017. – Т. 4 (47). – S. 36-47.

10. Bazhanova L. V. Otsenka hydrolohycheskoho montorynha i vosstanovlenye stoka rek metodom parnoi korreliatsyy // Nauka, novye tekhnolohyy i innovatsii Kurhuzstana, 2018, 3: 134-140.

Received 03.02.2021.

Accepted 30.04.2021.

**Определение похожих гидрологических рядов данных
с использованием коэффициентов корреляции**

В работе описано вычислительную схему определения похожих гидрологических рядов, представленных некоторыми показателями, основой которой является расчет коэффициентов корреляции Спирмена и Пирсона. При проведении анализа предусмотрено поэтапную оценку результатов, что дает возможность контролировать ход анализа и интерпретировать результаты. По результатам представленного в работе эксперимента определены три гидрологических пункта наблюдений, ряды данных которых имеют сильную корреляционную связь с рядом данных исследуемого пункта, но при этом только два из них по значениям рассчитанных оценок можно считать похожими на ряд данных исследуемого пункта.

Search similar hydrological data series using correlation coefficients

Water resources are an important part of the social and economic development of countries. A large number of hydrological studies are carried out using MS Excel, Statistica, Matlab, Matcad and only a small number of studies for calculations partially used specialized software solutions. An even smaller amount of research is carried out on the software implementation of computational schemes and algorithms in high-level programming languages.

Therefore, the development of software for the analysis of hydrological data is relevant. The aim of this work is to develop, describe and implement a technology to search for similar hydrological posts on the series of data represented by certain samples.

The paper describes the developed software component for determining similar series of data represented by hydrological samples. The computational scheme is based on the determination of the geometric similarity of data series, and the correlation coefficients of Spearman and Pearson are chosen for the calculations. The analysis involves a step-by-step calculation of the scores used in the regression analysis, which allows controlling the progress of the analysis and interpreting the results. Among the selected scores are MAPE, R², MSE and MAE.

The paper presents the results of a computational experiment conducted on water level samples in the period from 01.01.2000 to 31.12.2014 years, the data of the post wick located on the river Turia in the city of Kovel, Volyn region, were selected as the studied series. According to the results of the analysis, three hydrological posts were found, the data of which have a strong correlation with the data of the studied post. However, the MAPE, R², MSE and MAE scores show that only two of them can be considered sufficiently similar to the studied series.

Батурінець Анастасія Геннадіївна – аспірантка, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Антоненко Світлана Валентинівна – к.т.н., доцент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Батуринец Анастасия Геннадьевна – аспірантка, Днепроvский національний університет имени Олеся Гончара.

Антоненко Светлана Валентиновна – к.т.н., доцент, Днепроvский національний університет имени Олеся Гончара.

Baturinets Anastasiia – graduate student, Oles Honchar Dnipro National University.

Antonenko Svetlana –Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Oles Honchar Dnipro National University.

G.G. Shvachych, N.J. Vozna, O.V. Ivashchenko, O.P. Bilyi, D.M. Moroz

EFFICIENT ALGORITHMS FOR PARALLELIZING TRIDIAGONAL SYSTEMS OF EQUATIONS

Abstract. The article is devoted to the development of the maximal parallel forms of mathematical models with a tridiagonal structure. The example of solving the Dirichlet and Neumann problems by the method of straight lines and the sweep method for the heat equation illustrates the direct fundamental features of constructing parallel algorithms. It is noted that the study of the heat and mass transfer processes is run through their numerical modeling based on modern computer technology.

It is shown that with the multiprocessor computing systems' development, there disappear the problems of increasing their peak performance. On the other hand, building such systems, as a rule, requires standard network technologies, mass-produced processors, and free software. The noted circumstances aim at solving the so-called big problems.

It should be borne in mind that the classical approach to solving the tridiagonal structure models based on multiprocessor computing systems is far more time-consuming compared to single-processor computing facilities. That is explained by the recurrence relations that make the basis of classical methods. Therefore, the proposed studies are relevant and aim at the distributed algorithms development for solving applied problems.

The proposed research aims to construct the maximal parallel forms of mathematical models with a tridiagonal structure.

The paper proposes the schemes to implement parallelization algorithms for applied problems and their mapping to parallel computing systems.

Parallelization of tridiagonal mathematical models by the method of straight lines and the sweeping method allows designing absolutely stable algorithms with the maximum parallel form and, therefore, the minimum possible time for their implementation on parallel computing devices. It is noteworthy that in the proposed algorithms, the computational errors of the input data are separated from the round-off errors inherent in a PC.

The proposed approach can be used in various branches of metallurgical, thermal physics, economics, and ecology problems in the metallurgical industry.

Keywords: multiprocessor system, tridiagonal structure, method of straight lines, algorithms, thermal physics, parallel forms.

Raising of problem and analysis of the last achievements. The parallel computation systems are quickly developing and when computer clusters came into

service, parallel computations became available for many people. To construct clusters the mass processors, standard net technologies and freely distributed software support are used as a rule. Let's note that in the guise of computer cluster they implicate a computer body being united in the framework of a certain net to solve one problem. A small computer cluster consisting of 6 personal computers may be efficiently used by small departments. And at present, in this connection, the problem of efficient software development turned to be one of the central problems of parallel computations in the whole. Creation of parallel computation systems necessitated the designing of mathematical conceptions of parallel algorithm development, that is, the algorithms adapted to realization on similar computation systems [1 – 6]. On the other hand the development of mathematical modeling and practice needs gives rise to more complicated models. To understand them and to develop the analysis principles one has to utilize the newest achievements from quite different mathematical fields. Problem discretization results in equation systems with a great number of unknowns. Former methods of their solution are not always suitable from the point of view of accuracy, rate, required memory, algorithm structure, and such like considerations. The new ideas in the field of computational mathematics arise and are realized. In the final analysis, the new methods of numerical experiments realization are as well created for more perfect mathematical models [7,8]. In this work the efficacy of system of linear algebraic equations (SLAE) parallelization of three-diagonal structure using the numerical-and-analytical method of lines is shown on the pattern of the simplest heat conductivity problem solution.

The purpose of the research is to construct the most parallel forms of mathematical models of a tridiagonal structure. The application of the numerical and analytical direct method and sweep methods for such systems parallelizing allow designing its solutions having the maximum parallel form and, therefore, the least time for its implementation on parallel computing devices.

Mathematical problem setting. Let's examine a boundary-value Dirichlet's problem solution for a one-dimensional heat conduction equation.

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = a \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}, \quad t \in [t_0, T], \quad x \in [x_0, x_L] \quad (1)$$

with the initial condition

$$Y|_{t=t_0} = \varphi(x) \quad (2)$$

and the boundary data

$$Y|_{x=x_0} = YW(t), \quad Y|_{x=x_L} = YL(t), \quad (3)$$

Let's juxtapose a net domain to a definitional one of sought function $Y(t, x)$ in (1) – (3) problem

$$\left. \begin{aligned} t_y &= Y \times Dt1, Y = \overline{\lambda M}, Dt1 = T / M, M \in Z \\ x_p &= p \times Dt1, p = \overline{0, 2m}, Dt1 = (x_L - x_0) / 2m, m \in Z \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

Let's introduce the new unit-normalized independent arguments

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{t - t_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} \in [0, 1] \\ \varepsilon_x &= \frac{x - x_p}{x_{p+1} - x_p} \in [-1, 1] \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

here we'll get:

$$\frac{\partial Y_{p+\varepsilon_{xy},1}}{\partial \varepsilon_t} = A \frac{\partial^2 Y_{p+\varepsilon_{xy},1}}{\partial \varepsilon_x^2}, \quad A = Dt1 \frac{a}{Dx1^2}, \quad (6)$$

where $Y_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_t, \varepsilon_x)$ is sought piecewise-analytic function.

The research results

Discretization scheme by method of lines. The conception of (1) – (3) problem discretization by method of lines lies in the following [8]. After the equation (6) finite-difference approximation on a temporary variable we'll get the second-order system of ordinary differential equations (SODE).

$$Y_{p+\varepsilon_{x,1}}^{//}(\varepsilon_x) - \frac{1}{A} Y_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_x) = -\frac{1}{A} YO_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_x), \quad (7)$$

where $YO_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_x)$ is known initial function.

General solution of equation (7) seems to be a ratio of the following type:

$$Y_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_x) = Y_{p+\varepsilon_{x,1}}^*(\varepsilon_x) + C_p c\eta\beta(\varepsilon_x) + D_p S\eta\beta(\varepsilon_x), \quad (8)$$

where C_p, D_p are the constants of integration;

$YO_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_x)$ - specific solution of heterogeneous equation (7);

$\beta = \sqrt{\frac{1}{A}}$ - proper numbers of characteristic equation

$$\beta^2 - \frac{1}{A} = \Delta. \quad (9)$$

While differentiating solution (8) on ε_x , they get

$$\beta^2 - \frac{1}{A} = \Delta, \quad (9)$$

where $Y_{p+\varepsilon x,2}(\varepsilon_x) = Dx1 \frac{Y_{p+\varepsilon x,1}}{x} \Big|_{t=t_j}$ is an unknown gradient function.

Determining constants of integration in ratios (8), (10) from the conditions when $\varepsilon_x = \pm 1$:

$$Y_{P+\varepsilon x,1}(E_x)_{|\varepsilon_x=\pm 1} = Y_{p\pm 1} \quad (11)$$

they get

$$Y_{3+\varepsilon x,1}(\varepsilon_x) = \left\{ \begin{aligned} &Y_{3+\varepsilon x,1}^*(\varepsilon_x) + \frac{S\eta\beta(1+\varepsilon_x)}{S\eta\beta(2)} [Y_{p+1,1} - Y_{p+1,1}^*] + \\ &+ \frac{S\eta\beta(1-\varepsilon_x)}{S\eta\beta(2)} [Y_{p-1,1} - Y_{p-1,1}^*] \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

$$Y_{3+\varepsilon x,2}(\varepsilon_x) = \left\{ \begin{aligned} &Y_{3+\varepsilon x,2}^*(\varepsilon_x) + \frac{S\eta\beta(1+\varepsilon_x)}{S\eta\beta(2)} [Y_{p+1,2} - Y_{p+1,2}^*] + \\ &+ \frac{S\eta\beta(1-\varepsilon_x)}{S\eta\beta(2)} [Y_{p-1,2} - Y_{p-1,2}^*] \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

having put $\varepsilon_x = 0$, let's pass from distributed solution form (12), (13) to their discrete analogues in the form of SLAE:

$$C_p \begin{Bmatrix} Y_{p+1,1} \\ Y_{p+1,2} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} Y_{p,1} \\ Y_{p,2} \end{Bmatrix} + D_p \begin{Bmatrix} Y_{p-1,1} \\ Y_{p-1,2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_{p,1} \\ f_{p,2} \end{Bmatrix}, \quad (14)$$

where

$$\left. \begin{aligned} C_p &= \frac{S\eta\beta(1)}{S\eta\beta(2)}, & D_p &= \frac{Su\beta(1)}{Su\beta(2)} \\ \begin{Bmatrix} f_{p,1} \\ f_{p,2} \end{Bmatrix} &= C_p \begin{Bmatrix} Y_{p+1,1}^* \\ Y_{p+1,2}^* \end{Bmatrix} - Y_{p,\left\{\frac{1}{2}\right\}}^* + D_p \begin{Bmatrix} Y_{p,1}^* \\ Y_{p,2}^* \end{Bmatrix} \end{aligned} \right\}, \quad p = \overline{1, 2m-1}, \quad (15)$$

SLAE (14) are invariant relative to net functions $Y_{p,1}$ and $Y_{p,2}$ and have three-diagonal structure where boundary elements $Y_{0,1}$, $Y_{2m,1}$ for problem (1) – (3) are identical to the values of boundary functions (3):

$$Y_{0,1} = YW(t_j), \quad Y_{2m,1} = WL(t_j). \quad (16)$$

Identically, $Y_{0,2}$, $Y_{2m,2}$ elements on the domain boundary in SLAE (14) take the following values:

$$\left. \begin{aligned} Y_{0,2} &= Dx1 \times \frac{\partial Y}{\partial x} \Big|_{x=x_0, t=t_{0j}} \\ Y_{2m,2} &= Dx1 \times \frac{\partial Y}{\partial x} \Big|_{x=x_L, t=t_j} \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

which in Neumann's problems correspond to second-order boundary data.

In so doing, the mathematical model invariance in the form of SLAE (14) relative to $Y_{p,1}$, $Y_{p,2}$, net functions seemingly, reflects deeper group-theoretical features of input equation (1) relative to Coshi's data as well. In light of noted, the differential manifold and Dirichlet's and Neumann's problems group classification being carried out on Coshi's data in SLAE permits to continue the analysis on the pattern of only one group of decision variables $Y_{p,1}$ examination.

Sweep method analysis. Let's describe a simple and ordinary solving method of SLAE (14) having got the name of

the sweep method [1]. Let's postulate the existence of such two vectors E and G that for wha

$Y_{p,1}$ ($p = 1, 2m - 1$) the following equality is executed:

$$Y_{p,1} = E_p Y_{p+1,1} + G_p. \quad (18)$$

Having reduced into (18) index p by a unit, they get

$$Y_{p-1,1} = E_{p-1} Y_{p,1} + G_{p-1}. \quad (19)$$

After ratio (19) substitution to SLAE (14) we'll find

$$Y_{p,1} = \frac{C_p}{1 - D_p E_{p-1}} Y_{p+1,1} + \frac{D_p G_{p-1} - f_{p,1}}{1 - D_p E_{p-1}}. \quad (20)$$

Comparing equations (18) and (20) and noting that both of the equations being equitable for all the $p = \overline{1, 2m - 1}$ indices they get the recurrent ratios:

$$E_p = \frac{C_p}{1 - D_p E_{p-1}}, \quad G_p = \frac{D_p G_{p-1} - f_{p,1}}{1 - D_p E_{p-1}}, \quad (21)$$

realizing the algorithm of direct sweep. In fact, the following goes from the conditions on the left boundary (3):

$$E_0 = 0, \quad G_0 = Y_{0,1} = YW(t_j). \quad (22)$$

Further E_p, G_p elements are calculated in all the points in increment direction.

$Y_{p,1}$ ($p = 1, 2m - 1$) on the recurrent formulae (21). Then it goes from the right boundary condition (3) that $Y_{2m,1} = YL(t_j)$. This provides for start of reverse sweep on the recurrent formula (19) in p decrease direction from $p=2m-1$ up $p=1$.

If a sweep algorithm on formulae (20), (18) has the right orientation, it is obvious that it is possible to organize a sweep algorithm of the opposite left orientation as well. Let's assume the existence of such E and G vectors that for all the $Y_{p,1}$ the following equality is executed:

$$Y_{p,1} = E_p Y_{p-1,1} + G_p. \quad (22)$$

Having changed in (22) index p by increasing per a unit, they get

$$Y_{p+1,1} = E_{p+1} Y_{p,1} G_{p+1}. \quad (23)$$

Then after elimination from SLAE (14) $Y_{p+1,1}$ variables by substitution on formulae (23), it seems possible to develop the following recurrent dependencies:

$$E_p = \frac{D_p}{1 - C_p E_{p+1}}, \quad G_p = \frac{C_p G_{p+1} - f_{p,1}}{1 - C_p E_{p-1}} \quad (24)$$

corresponding to the right sweep algorithm in index p from $p=2m-1$ up $p=1$ decrease direction. Here the reverse sweep is realized on the recurrent ratios (22) in increment direction of $p = \overline{1, 2m-1}$ index, which was to be proved.

Let's note that to calculate using sweep method system solution (14), consisting of $(2m+1)$ equations, it's necessary to carry through arithmetical operations in the quantity being only by finite number times bigger than unknown quantity. To solve equations with N unknown quantities of arbitrary linear system N using method of exclusion one usually has to use up arithmetic in N^3 quantity. They managed to attain such a reduction of arithmetic number when system (14) solving by sweep method while successfully using the specific character of this system.

Conclusion. Three-diagonal SLAE parallelization being realized on the ground of numerical-and-analytical method of lines permits synthesizing of absolutely stable algorithms having maximal parallel form and, thereby, minimal possible time for its realization on parallel computing devices. Noteworthy is also the fact that input data computing errors being in it separated from round-off ones thus inherent in real personal electronic computers. The algorithm is illustrated on the pattern of initial-boundary-value Dirichlet's problem solution for heat conduction equation. But in this connection, it turns out to be an invariant one for coset problems – Neumann's ones too. This fact obviously reflects deeper group-theoretic properties of parabolic equations as well relative to Coshi's data on spatial variable.

The proposed approach can be used in various branches of metallurgical, thermal physics, economics, and ecology problems in the metallurgical industry.

Keywords: multiprocessor system, tridiagonal structure, method of straight lines, algorithms, thermal physics, parallel forms.

REFERENCES

1. Shvachych G.G. Prospects of construction highly-productive computers systems on the base of standard technologies. Strategy of Quality in Industry and Education : IV International Conference. May 30 – June 6. 2008, Varna, Bulgaria, 2008. Vol. 2. P. 815 – 819.

2. Shvachych G.G. Prospects of construction highly-productive computers systems on the base of standard technologies. Strategy of Quality in Industry and Education : IV International Conference. May 30 – June 6. 2008, Varna, Bulgaria, 2008. Vol. 2. P. 815 – 819.
3. Shvachych G., Pobochii I., Kholod E., Ivaschenko O., V. Busygin Multiprocessors computing systems in the problem of global optimization. Structural transformations and problems of information economy formation : monograph. Ascona Publishing United States of America. 2018. P. 281 – 291.
4. Shvachych G., Mamuzic I., Ivaschenko O., Moroz B., Hulina I. Maximum parallel forms of difference scheme algorithms in applied problems of metallurgical thermal physics. Materials and Metallurgy : 14 International Symposium of Croatian Metallurgical Society SHMD. CROATIA. 2020. P. 442.
5. Shvachych G., Kholod E., Ivaschenko O., Busygin V. Visualization of the applied problems in multiprocessor computing systems. Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Easter Europe. Held in Budapest, Hungary, 2018. P. 65 – 69.
6. Ivaschenko V.P., Alishov N.I., Shvachych G.G., Tkach M.A. Latest technologies based on use of high-efficient multiprocessing computer systems. Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science, Baku, Azerbaijan. 2013. Vol. 1. Numb. 1. P. 44 – 51.
7. Shvachych G., Moroz B., Pobochii I., Ivaschenko O., Busygin V. Maximally parallel forms of distributed simulation of dynamic systems. World Science. Poland. 2018. № 4(32). Vol.1. P.12 – 19.
8. Shvachych G., Ivaschenko O., Busygin V., Fedorov E. Parallel computational algorithms in thermal processes in metallurgy and mining. Naukovyi visnyk NHU. Dni-pro. 2018. № 4. P. 129 – 137.

Received 06.05.2021.

Accepted 11.05.2021.

Ефективні алгоритми розпараалелювання тридіагональних систем рівнянь

Статтю присвячено розробці максимально паралельних форм математичних моделей, які мають тридіагональну структуру. Безпосередньо принципові особливості конструювання паралельних алгоритмів ілюструються на прикладі розв'язків задач Діріхле та Неймана методом прямих і методом прогонки для рівнянь теплопровідності. Відзначається, що дослідження процесів тепло - і масообміну реалізується шляхом їх числового моделювання на основі застосування сучасних засобів обчислювальної техніки.

Показано, що з розвитком багатопроцесорних обчислювальних систем зникають проблеми в збільшенні їх пікової продуктивності. З іншого боку, для побудови таких систем, як правило, застосовують стандартні мережеві технології, процесори масового

виробництва, вільне програмне забезпечення. Зазначені обставини й спрямовані на розв'язок так званих великих задач.

При цьому необхідно мати на увазі, що застосування класичного підходу до розв'язку моделей тридіагональних структур на основі використання багатопроцесорних обчислювальних систем відзначаються набагато більшими часовими витратами в порівнянні з однопроцесорними обчислювальними засобами. Це пояснюється застосуванням рекурентних співвідношень, які покладені в основу класичних методів. Отже, для паралельних обчислювальних систем необхідно окремо конструювати процес векторизації обчислень. У зв'язку з цим запропоновані дослідження є актуальними і спрямованими на розвиток розподілених алгоритмів розв'язку прикладних задач.

Мета запропонованих досліджень полягає в конструюванні максимально паралельних форм математичних моделей тридіагональних структур. Запропоновані в даній роботі схеми спрямовані на реалізацію алгоритмів розпаралелювання прикладних задач і їх відображення на паралельні обчислювальні системи.

Розпаралелювання тридіагональних математичних моделей методом прямих і методом прогонки дозволяє конструювати абсолютно стійкі алгоритми, що мають максимальну паралельну форму і, отже, мінімально можливий час їх реалізації на паралельних обчислювальних пристроях. Помітимо, що в запропонованих алгоритмах відокремлено обчислювальні похибки вхідних даних від похибок округлення, властиві ПЕОМ.

Запропонований підхід може бути використаним в різних галузях металургійної теплофізики, економіки, а також задач екології металургійної промисловості.

Efficient algorithms for parallelizing tridiagonal systems of equations

The article is devoted to the development of the maximal parallel forms of mathematical models with a tridiagonal structure. The example of solving the Dirichlet and Neumann problems by the method of straight lines and the sweep method for the heat equation illustrates the direct fundamental features of constructing parallel algorithms. It is noted that the study of the heat and mass transfer processes is run through their numerical modeling based on modern computer technology.

It is shown that with the multiprocessor computing systems' development, there disappear the problems of increasing their peak performance. On the other hand, building such systems, as a rule, requires standard network technologies, mass-produced processors, and free software. The noted circumstances aim at solving the so-called big problems.

It should be borne in mind that the classical approach to solving the tridiagonal structure models based on multiprocessor computing systems is far more time-consuming compared to single-processor computing facilities. That is explained by the recurrence relations that make the basis of classical methods. Therefore, the proposed studies are relevant and aim at the distributed algorithms development for solving applied problems.

The proposed research aims to construct the maximal parallel forms of mathematical models with a tridiagonal structure.

The paper proposes the schemes to implement parallelization algorithms for applied problems and their mapping to parallel computing systems.

Parallelization of tridiagonal mathematical models by the method of straight lines and the sweeping method allows designing absolutely stable algorithms with the maximum parallel form and, therefore, the minimum possible time for their implementation on parallel computing devices. It is noteworthy that in the proposed algorithms, the computational errors of the input data are separated from the round-off errors inherent in a PC.

The proposed approach can be used in various branches of metallurgical, thermal physics, economics, and ecology problems in the metallurgical industry.

Швачич Геннадій Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.

Возна Наталія Ярославівна - доктор технічних наук, доцент, кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна.

Іващенко Олена Валеріївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.

Білий Олександр Петрови – кандидат технічних наук, доцент кафедри ливарного виробництва, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.

Мороз Дмитро Максимович – магістр, Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна.

Швачич Геннадий Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и вычислительной техники, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина.

Возная Наталия Ярославовна - доктор технических наук, доцент, кафедра специализированных компьютерных систем, Западноукраинский национальный университет, Тернополь, Украина.

Иващенко Елена Валерьевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной математики и вычислительной техники, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина.

Белый Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры литейного производства, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина.

Мороз Дмитрій Максимович – магістр, Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, г. Дніпр, Україна.

Shvachych Gennady – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department Applied Mathematics and Computer Science, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine.

Vozna Nataliia – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Specialized Computer Systems, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine.

Ivashchenko Olena – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecture of the Department Applied Mathematics and Computer Science, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine.

Bilyi Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of casting production, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine.

Moroz Dmytro – master, Oles Honch Dnipro National University, Dnipro, Ukraine.

УЛУЧШЕНИЕ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БАЗИСЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЧЕТКОСТИ ТИПА_2

Аннотация. Рассмотрены информационные возможности алгоритма улучшения полутонных изображений с использованием нечеткости типа_2 и различных методах ортогонализации при формировании результата. Приведены экспериментальные данные на примере реального оптического микроскопического изображения.

Ключевые слова: полутонные изображения, нечеткая логика, функция принадлежности типа_2, ортогональные преобразования, синтез характеристик.

Постановка проблемы. Одной из быстро развивающейся областей, которая связана с различными сферами человеческой деятельности, такими как медицина, биология, металлофизика и пр., является оптическая микроскопия. Ее быстрое развитие обусловлено возможностью использования компьютерных технологий для формирования качественных данных. Даже при правильно настроенном и оптимально работающем микроскопе, получаемые изображения обычно отображают неравномерный фон, значительный шум, артефакты абберрации, имеют низкий контраст, области вне фокуса, колебания интенсивности. Кроме того, изображения, которые кажутся совершенно четкими в микроскопе, могут искажаться датчиком формирования цифрового изображения, что приводит к появлению артефактов за счет сглаживания, шума камеры, сдвига баланса белого и т.п.

Традиционные схемы коррекции микроскопических изображений используют два дополнительных рамочных кадра в дополнение к анализируемому образцу – опорный кадр поля зрения на том же уровне фокусировки и уровне яркости и темный опорный кадр при отсутствии освещения. Они должны иметь тот же уровень яркости, что и исходное изображение, и использовать полный динамический диапазон системы камеры для минимизации шума. Однако, если исходное изображение и опорная рамка с плоским полем имеют

низкие амплитуды сигнала и содержат значительное количество шума, получаемое изображение будет низкого качества (темным и шумным) [1].

Применение цифровых методов обработки позволяет обеспечить такое новое их представление, при котором становятся доступными дополнительные или новые признаки более высокого порядка, уменьшающие существующую неопределенность и неоднозначность, выявляющие невидимую связь в исходных данных, что позволяет повысить качество изображений и, соответственно, точность количественных характеристик, получаемых на основе анализа яркостных значений пикселей.

Анализ публикаций. Неточность и неопределенность в исходном изображении проявляются в виде темных теней, чрезмерно ярких бликов, пятен и градиентов интенсивности, которые изменяют истинные значения яркостей и приводят к значительным ошибкам при измерении необходимых числовых характеристик анализируемых параметров. Это один из существенных факторов, влияющих на сложность процесса автоматического расчета числовых параметров на основе анализа яркостных характеристик изображений, таких как, например, в металлографии, объемного содержания фаз, размера зерен, удельной поверхности границ зерен, расстояния между подобными частицами или фазами и тому подобное [2].

Процедура преобразования изображений для повышения достоверности анализа должна соответствовать противоречивым требованиям – удалению шума с сохранением мелких деталей, выделению границ объектов без излишней детализации и без появления артефактов. Один из путей решения задачи повышения качества изображений и достоверности их анализа основан на переходе в новое пространство информативных признаков, формируемых на основе пространственных преобразований, которые изменяют взаимосвязь (структуру) пространства анализируемых признаков [3]. В частности, вычитание фона – это метод, который приводит к локализованным изменениям значения каждого пикселя в исходном изображении в зависимости от интенсивности соответствующего пикселя в фоновом изображении. Синтез фона можно выполнить различными методами, например, использовать метод локального вычисления фона [4].

Использование нечеткой логики за счет нелинейности позволяет усилить влияние вариаций яркостных свойств анализируемых изображений и устранить неоднозначность в исходных данных [5]. Нечеткие множества типа_1 (T_1) позволяют преобразовать неопределенность в функцию принадлежности и

устранять неоднозначность серого. Нечеткая логика типа_2 (T2) позволяет рассматривать задачи, имеющие более высокую степень неопределенности, в частности, в методах представления изображений и в алгоритмах их обработки. Удаление неопределенности в T2 приводит к нечетким множествам T1, удаление случайности в нечетких множествах T1 приводит к однозначности. В настоящее время алгоритмы обработки изображений с использованием T2 предложены для решения задач кластеризации, фильтрации, обнаружения границ и в классификации изображений [6].

В работе [7] исследованы информационные возможности метода сегментации полутоновых слабоконтрастных изображений на основе нечетких множеств T2 в ортогональном базисе сингулярного разложения. Для формирования результата используются подпространства, в проекции на которые разброс данных максимален. Как и любой другой многомерный статистический метод сингулярное преобразование чувствительно к выбросам, отсутствующим данным и может некорректно описывать структуру в случае наличия существенного шума. С целью уменьшения влияния этих факторов разработан метод нечетких главных компонент (FPCA) [8].

Цель исследования. Статья посвящена описанию алгоритма улучшения яркостных параметров полутоновых изображений, использующего нечеткую логику второго порядка для учета неопределенности в исходных данных и сравнению информационных возможностей результирующих характеристик, полученных с использованием различных методов ортогонализации: сингулярного разложения, Грамма-Шмидта и нечетких главных компонент для функций принадлежности типа_2 на этапе дефаззификации.

Основная часть. Метод Грамма-Шмидта [9] предполагает, что для исходных данных, задаваемых матрицей A с параметрами c_i , где $i = 1, \dots, n$ определяет размерность пространства признаков, в качестве первого вектора выбирается $v_1 = c_1$, где c_1 – первый столбец матрицы, и затем каждый последующий вектор v_i , ортогональный к векторам $v_1, \dots, v_{i-1}$, рассчитывается по формуле

$$v_i = c_i - \frac{v_1^T \cdot c_i}{v_1^T \cdot v_1} \cdot v_1 - \dots - \frac{v_{i-1}^T \cdot c_i}{v_{i-1}^T \cdot v_{i-1}} \cdot v_{i-1}. \quad (1)$$

Для любого номера i подпространство, порожденное исходными векторами $c_1, \dots, c_i$, совпадает с подпространством, порожденным векторами

$v_1, \dots, v_i$. В результате вектора $q_i = v_i / \|v_i\|$, которые можно развернуть в формате изображения, становятся ортонормированными.

В методе нечетких главных компонент (FPCA) предполагается, что нечеткое множество A характеризуется линейным прототипом $L(u, v)$, где u – функция принадлежности образцов к кластеру центром v . Линия, называемая первой главной компонентой нечеткого множества, задается единичным собственным вектором u , связанным с наибольшим собственным значением $\lambda_{\max}$ например, нечеткой ковариационной матрицы C .

$$C_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^p A(x^k)^m \cdot (x_i^k - \bar{x}_i) \cdot (x_j^k - \bar{x}_j)}{\sum_{k=1}^p A(x^k)^m}, i, j = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где $\bar{x}_i$ – среднее арифметическое i -ой переменной, $m > 1$ – степень нечеткости, а p – количество информативных признаков.

Представленный в данной работе метод повышения качества полутоновых изображений содержит следующие шаги.

1. Масштабирование исходного полутонового изображения I на отрезок $[0,1]$.

2. Предобработка, которая выполнялась на основе двух методов:

а) адаптивная степенная коррекция яркости:

- преобразование I для небольшого уменьшения яркости и удаления значений, равных 1 на основе выражения

$$I_{x,y}^1 = I_{x,y} - 1/256, I_{x,y} > (\bar{I} + 0.5)/2, x \in [1, dy], y \in [1, dx], \quad (3)$$

где $\bar{I}$ – среднее значение I . Необходимость этого шага обусловлена использованием степенных преобразований.

- пропорциональное выравнивание яркости:

$$I_{x,y}^2 = \left(I_{x,y}^1\right)^{1+\text{sgn}(I_{x,y}^1 - \bar{I}_1)} \left(I_{x,y}^1\right)^{\left(1-\text{sgn}(I_{x,y}^1 - \bar{I}_1)\right) \cdot I_{x,y}^1} \left(\bar{I}_1 - I_{x,y}^1\right)^{1 - \left(I_{x,y}^1\right)^{1 - I_{x,y}^1}}, \quad (4)$$

где $\bar{I}_1 = (\bar{I} + 0.5)/2$.

- пропорциональное снижение яркости всего изображения:

$$I_{x,y}^3 = \left(I_{x,y}^2\right)^{1 + \left(I_{x,y}^2\right)^{1 - I_{x,y}^2 / 2}}. \quad (5)$$

б) локальное вычитание фона [4] с использованием неперекрывающихся окон (в экспериментах был выбран размер [15x15]), включает следующие шаги:

- формирование изображения I^1 на основе значения яркости пикселей окна w^1 :

$$w_{x,y}^1 = (\bar{w} + \bar{I}) / 2, \quad (6)$$

где $\bar{w}$ – среднее значение яркости по текущему окну изображения I .

- на основе I^1 происходит формирование изображения I^3 по формуле:

$$I_{x,y}^3 = I_{x,y} - I_{x,y}^1. \quad (7)$$

После применения выражения (7) полученное изображение масштабируется на отрезок $[0,1]$ и к нему применяется адаптивная эквализация гистограммы.

3. Изображение I^3 рассматривается как массив нечетких синглетонов (нечетких множеств с единственной опорной точкой), отображающих значение членства нечеткого множества типа_1 $u_{x,y}$ для каждой точки изображения и для него формируются значения «верхней» (I_h^3) и «нижней» (I_l^3) функций принадлежности типа_1 (ФПТ1):

$$(I_{x,y}^3)_h = (I_{x,y}^3)^{1 - (I_{x,y}^3)^{-I_{x,y}^3 / 2}}, \quad (8)$$

$$(I_{x,y}^3)_l = (I_{x,y}^3)^{1 + (I_{x,y}^3)^{-I_{x,y}^3 / 2}}. \quad (9)$$

4. Определение I^4 – значений функций принадлежности типа_2 (ФПТ2):

$$I_{x,y}^4 = (I_{x,y}^3)_h - (I_{x,y}^3)_l. \quad (10)$$

5. Формирование ансамбля изображений I^5 , который содержит I^3 , I^4 , I_l^3 при выполнении шага 2 на основе степенной коррекции или I^4 , I_l^3 , I_h^3 в случае предобработки на основе локального вычитания фона.

Различные способы формирования ансамбля изображений обусловлены тем, что в случае обработки засвеченных снимков, способ предобработки влияет на уровень яркости I_h^3 . При использовании адаптивной степенной коррекции уровень яркости I_h^3 слишком высок, что делает это изображение неинформативным в сравнении с предобработанным исходным снимком.

6. К I^5 применяется ортогональное преобразование, в результате которого формируется матрица I^6 , которая интерпретируется как многомерное изображение размерностью $[dy \times dx \times K]$, каждая спектральная компонента которого масштабируется на отрезок $[0,1]$. Также формируются векторы коэффициентов C и S (их получение зависит от используемого ортогонального преобразования).

7. Вектор C упорядочивается по убыванию, а его элементы нормируются так, чтобы их сумма была равна 1.

8. Формируется вектор dC , содержащий разности для каждой пары соседних элементов вектора C .

9. Вычисляется значение dC_a по формуле:

$$dC_a = \left(\left(\sum_{j=1}^{K-1} dC_j / (K-1) \right) + (dC_{\min} + dC_{\max}) / 2 \right) / 2, \quad (11)$$

где $dC_{\min}$ и $dC_{\max}$ – минимальный и максимальный элементы вектора dC , соответственно.

10. На основе значения dC_a при просмотре элементов вектора dC с конца выбирается такой индекс $i_{\max}$, для которого выполняется условие:

$$dC_{i_{\max}} \geq dC_a. \quad (12)$$

После чего элементы вектора dC с индексами от 1 до $i_{\max} + 1$ нормируются так, чтобы их сумма была равна 1.

11. Итоговое изображение I^7 формируется как взвешенная сумма наиболее значимых компонент матрицы I^6 по формуле:

$$I_{y,x}^7 = \sqrt{\sum_{j=1}^{i_{\max}+1} \left(I_{x,y,j}^6 \cdot C_j \right)^{\frac{1}{C_j \cdot S_j + 2 - S_j / 2}} \cdot S_j}. \quad (13)$$

Для этого изображения применяется адаптивная эквализация гистограммы.

В данной работе рассматривается применение следующих ортогональных преобразований:

1. Сингулярное разложение. В этом случае I^6 удовлетворяет следующему соотношению:

$$I^5 = I^6 \cdot S_s \cdot (V_s)^T, \quad (14)$$

причем I^6 содержит левые сингулярные вектора и ее размерность совпадает с I^5 , S_s и V_s имеют размерность $K \times K$, т.к. используется экономное представление сингулярного разложения, и содержат собственные числа и правые сингулярные вектора, соответственно.

Вектора коэффициентов C и S вычисляется на основе выражений:

$$C_i = \left(\left| \sum_{j=1}^K (V_s)_{i,j} \right| + \left| \sum_{j=1}^K (V_s)_{j,i} \right| \right) / 2, i \in [1, K], \quad (15)$$

$$S_i = \operatorname{sgn} \left(\sum_{j=1}^K (V_s)_{i,j} + \sum_{j=1}^K (V_s)_{j,i} \right), i \in [1, K]. \quad (16)$$

2. Преобразование Грамма-Шмидта. I^6 формируется на основе соотношения (используется экономное преобразование):

$$I^5 \cdot E = I^6 \cdot R, \quad (17)$$

причем размерности матриц I^5 и I^6 совпадают, R (верхняя треугольная матрица) имеет размерность $K \times K$, а E (матрица перестановок) – $1 \times K$.

Вычисление вектора C происходит следующим образом:

$$C_i = \left(\sum_{j=1}^K R_{j,i} - \sum_{j=1}^K R_{i,j} \right) / d_i, i \in [1, K], \quad (18)$$

где d – вектор, содержащий элементы главной диагонали матрицы R . Вектор S вычисляется по следующей формуле:

$$S_i = \operatorname{sgn}(d_i), i \in [1, K]. \quad (19)$$

3. Метод FPCA. Матрица I^6 соответствует матрице счетов (Scores), которая вычисляется итеративно на основе исходных данных и внутренней матрицы W (изначально содержит матрицу правых сингулярных векторов сингулярного разложения, значения которой итеративно изменяются). На основании этой же матрицы W вычисляется матрица нагрузок (Loads) L (размерностью $K \times K$). Вектор C формируется так:

$$C_i = \frac{1}{\left\| \sum_{j=1}^K L_{i,j} \right\| + \max_i^r} + \frac{1}{\left\| \sum_{j=1}^K L_{j,i} \right\| + \max_i^c}, i \in [1, K], \quad (20)$$

где $\max^r$ и $\max^c$ – вектора максимальных значений по строкам и столбцам матрицы L , соответственно. Вектор S вычисляется по формуле:

$$S_i = \operatorname{sgn} \left(\sum_{j=1}^K L_{i,j} \right), i \in [1, K]. \quad (21)$$

Экспериментальные результаты. Предложенный метод был проверен на различных полутоновых изображениях, примером которых может служить снимок на рис. 1 а. Это оптическое микроскопическое изображение образца фосфоросодержащего сплава Fe–2%P–0,042%C с увеличением x250, полученное на металлографическом микроскопе GX-51 с цифровой системой анализа изображений фирмы «Olympus», которое имеет засвеченную область, неоднородный фон, шумы, недостаточный уровень контраста для проведения достоверного анализа.

На рис. 1 б и в представлены результаты предобработки этого изображения на основе адаптивной степенной коррекции яркости и локального вычитания фона, соответственно. В обоих случаях достигается выравнивание уровня яркости в целом по изображению по сравнению с исходными данными. Анализ гистограмм этих изображений, представленных на рис. 2, показывает что адаптивная степенная коррекция яркости (рис. 2 б) приводит к расширению диапазона яркости с сохранением формы исходной гистограммы (рис. 2 а) пик которой сужается и смещается влево. Применение метода локального вычитания фона (рис. 2 в) обеспечивает расширение диапазона яркостей в большей степени, однако центральный пик при этом выравнивается.

Визуальный анализ результата предобработки на рис. 1 б, в показывает, что применение локального вычитания фона приводит к получению более высокого уровня контраста и яркости, но в то же время и некоторой размытости, что затрудняет выделение границ областей и визуальный анализ их структуры.

На рис. 3 и 4 представлена визуализация "нижней" и "верхней" МФТ1, а также МФТ2, получаемой на их основе для обоих способов предобработки.

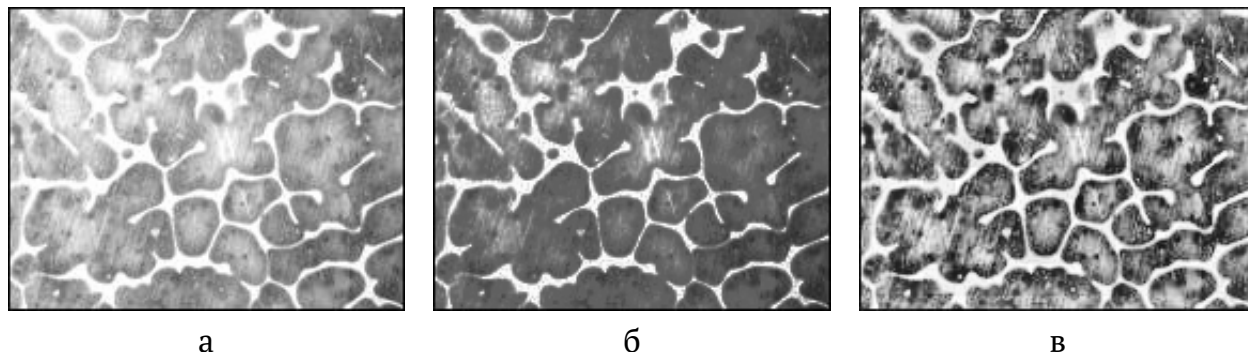


Рисунок 1 - Результат предобработки: а – исходное микроскопическое изображение; б – адаптивная степенная коррекция яркости;
в – локальное вычитание фона

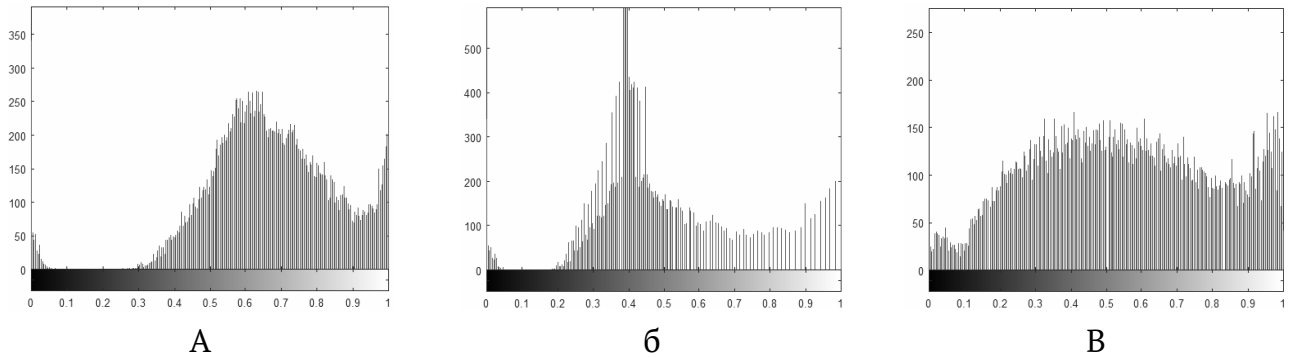
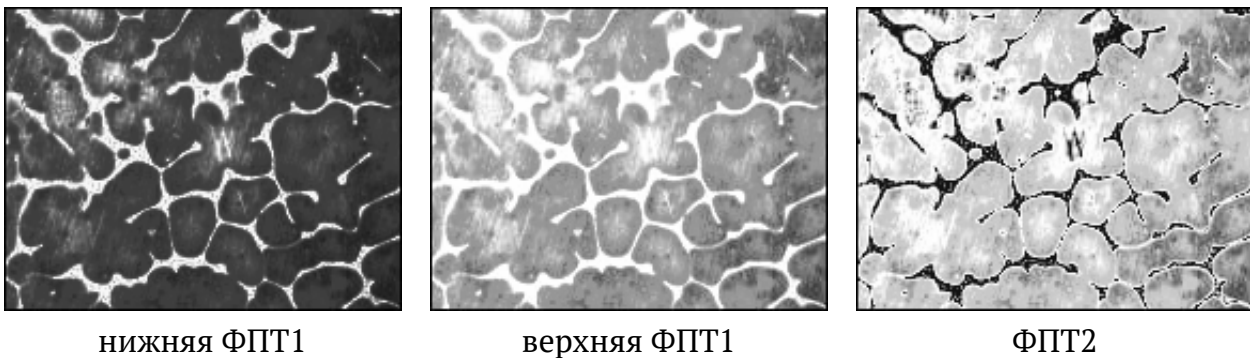


Рисунок 2 - Гистограммы изображений: а – рис. 1 а; б – рис. 1 б; в – рис. 1 в



нижняя ФПТ1

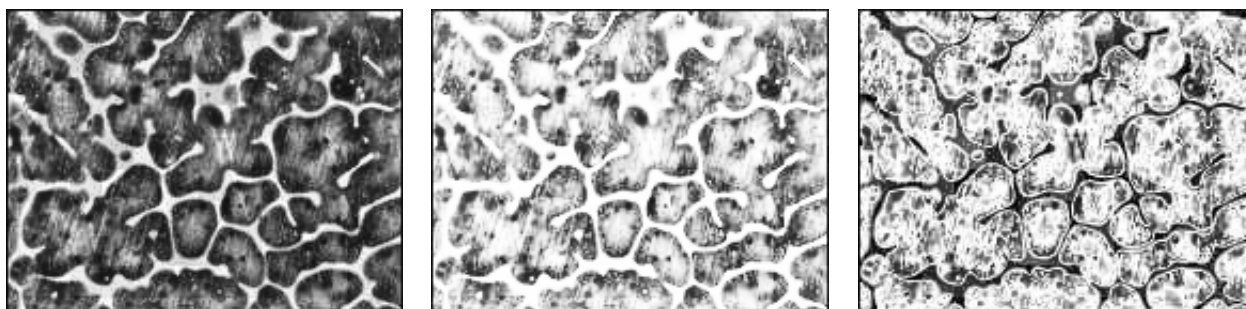
верхняя ФПТ1

ФПТ2

Рисунок 3 - Нечеткие функции принадлежности с предобработкой на основе адаптивной степенной коррекции яркости

На рис. 5, 6, 7 представлены выходные изображения, полученные при использовании сингулярного разложения, преобразования Грамма-Шмидта и FPCM, соответственно, на 6-ом шаге предложенного алгоритма для предобработок на основе адаптивной степенной коррекции яркости (рис. 5 а, 6 а, 7 а) и локального вычитания фона (рис. 5 б, 6 б, 7 б).

Анализ полученных результатов показывает, что выходные изображения демонстрируют разный уровень детализации и в разной степени выделяют структуры областей исходного снимка. Применение сингулярного разложения (рис. 5) позволяет, в целом, получить более высокий уровень детализации. Использование преобразования Грамма-Шмидта (рис. 6) в данном случае не дало полезных результатов. Применение FPCM в сочетании с предобработкой на основе локального вычитания фона (рис. 7 б) приводит к компенсации неравномерности яркости, обусловленной системой формирования данных, с увеличением контраста. Использование адаптивной степенной коррекции яркости (рис. 7 а) приводит к получению некоторой размытости на выходном изображении.

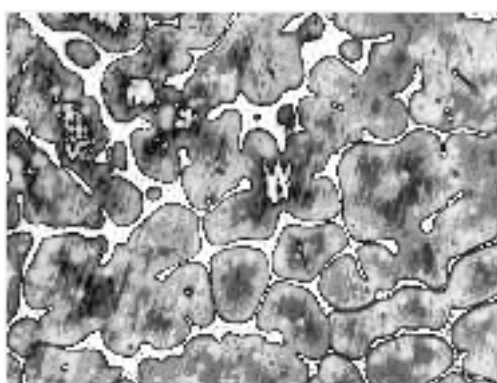


нижняя ФПТ1

верхняя ФПТ1

ФПТ2

Рисунок 4 - Нечеткие функции принадлежности с предобработкой
на основе локального вычитания фона



а

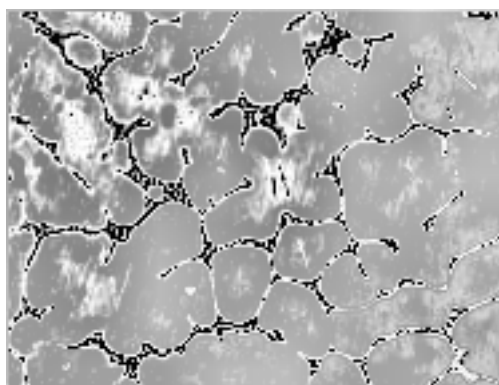


б

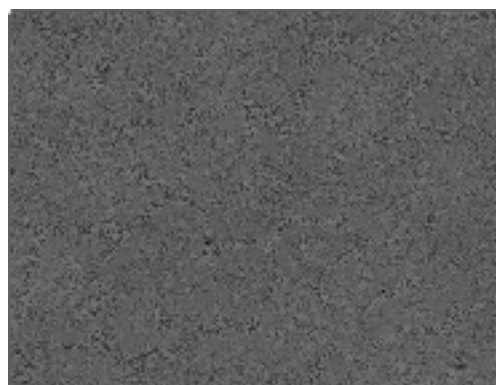
Рисунок 5 - Применение сингулярного разложения при использовании: а –
адаптивной степенной коррекции яркости; б – локального вычитания фона

Выводы. Экспериментальные исследования показали, что

- применение нечеткой логики типа_2 позволяет обеспечить переход в многомерное пространство для полутоновых изображений и дает возможность применения для их обработки методов многомерного анализа;
- предложенный алгоритм позволяет обеспечить улучшение визуальных характеристик оптических микроскопических изображений;
- диагностическая значимость получаемых характеристик определяется особенностями исходных данных и целью анализа.

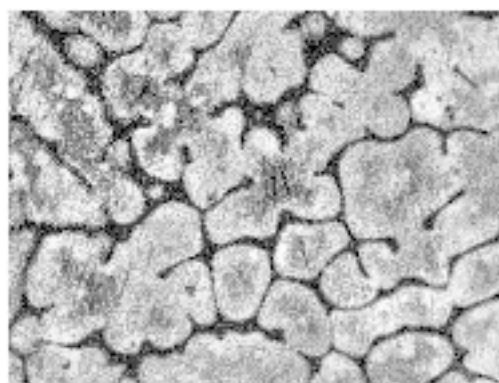


а

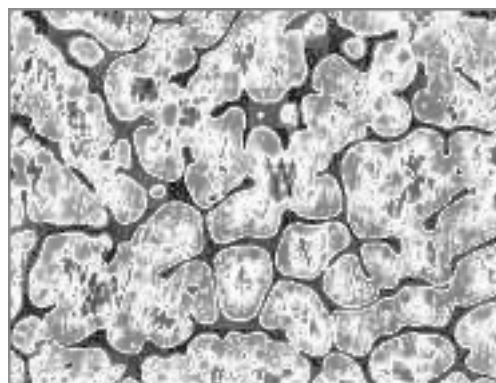


б

Рисунок 6 - Применение преобразования Грамма-Шмидта при использовании: а – адаптивной степенной коррекции яркости;
б – локального вычитания фона



а



б

Рисунок 7 - Применение FPCM при использовании: а – адаптивной степенной коррекции яркости; б – локального вычитания фона

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. John C. Russ, F. Brent Neal The Image Processing Handbook 7th Edition CRC Press; 2015. -1053 с.
2. O.B. Sukhova, N.V Karpenko. The peculiarities in contact interaction processes and technology to fabricate multi-layered composites // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii.– 2008. – Vol. 30. pp. 585-594.
3. Yegorov A., Akhmetshina L. Optimizatsiya yarkosti izobrazheniy na osnove neyro-fazzi tekhnologiy. Monografiya. Izd. Lambert - 2015. – 139 P.
4. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Изд. д. Вильямс, - 2004. 465 с.
5. Chi Z., Yan H., Pham T. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word

Scientific, 1998. – 225 p.

6. Castillo O., Melin P. Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications. Springer-Verlag, - 2008. pp. 121-132.

7. L. Akhmetshina, A. Yegorov. Low-Contrast Image Segmentation by using of the Type-2 Fuzzy Clustering Based on the Membership Function Statistical Characteristics / International Scientific Conference Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. AISC, - Vol. 1020. pp. 689-700.

8. Horia F. Pop. Principal components analysis based on a fuzzy sets approach // Studia Univ. Babes, –Bolyai, Informatica, - 2001.- Vol. XLVI, № 2. - pp. 45-52.

9. Стренг Г. Линейная алгебра и ее применения / Стренг Г.; [пер с англ. Ю.А. Кузнецова, Д. М. Фогел]; под ред. Г.И. Марчука // – М.: Мир, 1980. – 423 с.

REFERENCES

1. John C. Russ, F. Brent Neal The Image Processing Handbook 7th Edition CRC Press; 2015. -1053 с.

2. O.B. Sukhova, N.V Karpenko. The peculiarities in contact interaction processes and technology to fabricate multi-layered composites // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii.– 2008. – Vol. 30. pp. 585-594.

3. Yegorov A., Akhmetshina L. Optimizatsiya yarkosti izobrazheniy na osnove neyro-fazzi tekhnologiy. Monografiya. Izd. Lambert - 2015. – 139 P.

4. Forsayt D., Pons ZH. Komp'yuternoye zreniye. Sovremennyy podkhod. M.: Izd. d. Vil'yams, - 2004. 465 s.

5. Chi Z., Yan H., Pham T. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.

6. Castillo O., Melin P.: Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications. Springer-Verlag, - 2008. pp. 121-132.

7. L. Akhmetshina, A. Yegorov. Low-Contrast Image Segmentation by using of the Type-2 Fuzzy Clustering Based on the Membership Function Statistical Characteristics / International Scientific Conference Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. AISC, - Vol. 1020. pp. 689-700.

8. Horia F. Pop. Principal components analysis based on a fuzzy sets approach // Studia Univ. Babes, –Bolyai, Informatica, - 2001.- Vol. XLVI, № 2. - pp. 45-52.

9. Streng G. Lineynaya algebra i yeye primeneniya / Streng G.; [per s angl. YU.A. Kuz-netsova, D. M. Foge]; pod red .. G.I. Marchuka // - M.: Mir, 1980. - 423 s.

Received 29.04.2021.
Accepted 06.05.2021.

Поліпшення напівтонових зображень

у базисі ортогональних характеристик нечіткості типу_2

Наведено алгоритм поліпшення напівтонових зображень, який заснований на процесі формування багатовимірного ансамблю ознак на основі вихідних даних з використанням нечіткості типу_2 з подальшим застосуванням ортогонального перетворення і візуалізації характеристик, синтезованих на основі власних значень. Розглянуто інформаційні можливості алгоритму при використанні різних методів ортогоналізації: сингулярного розкладання, перетворення Грама-Шмідта та нечіткого методу головних компонент. Показано, що алгоритм дозволяє враховувати невизначеність вихідних даних, виконує анізотропну фільтрацію в двовимірній площині просторових частот, що забезпечує поліпшення візуальних характеристик вихідних зображень. Експериментальні результати представлені на прикладі реального оптичного мікроскопічного зображення.

**Improvement of grayscale images in the basis
of orthogonal transformations of fuzzy sets type_2 characteristics**

Inaccuracies and ambiguities in the original image appear as dark shadows, light-stuck areas, spots, and intensity gradients that alter the true brightness values. This increases the complexity of the automatic calculation of numerical parameters based on the images brightness characteristics analysis. One of the ways of improving the quality of images and the reliability of their analysis is based on the transition to a new space of informative features.

The usage of fuzzy sets due to nonlinearity allows to enhance the influence of variations in the brightness properties of the analyzed images and eliminate ambiguity in the initial data. Fuzzy sets of type_1 (T1) allow converting uncertainty into a membership function and eliminating gray ambiguity. Fuzzy sets of type_2 (T2) allows considering problems with a higher degree of uncertainty. Currently, image processing algorithms using T2 have been proposed for solving clustering, filtering, edge detection, and image classification problems.

The article is devoted to the description of a grayscale images brightness parameters improving algorithm using fuzzy sets T2 to take into account the uncertainty in the initial data and comparing the information capabilities of the resulting characteristics obtained by different orthogonalization methods: singular value decomposition, Gram-Schmidt and fuzzy principal components for membership functions T2 (FPT2) at the defuzzification stage.

The proposed method consists of the following steps: scaling the original image to the range $[0,1]$; preprocessing, which was made on the basis of adaptive power-law brightness correction and local background subtraction; forming of "lower" and "upper" membership functions T1 and MFT2; applying the orthogonal transformation for an ensemble of images obtained by preprocessing and membership functions, which gives a transition to a new space of features; automatic selection of the most significant features after applying the orthogonal transformation; forming of the output image based on the weighted sum of the most significant features.

The proposed method was tested on various grayscale images. As an example of such a snapshot, the article presents an optical microscopic image of a phosphorus-containing alloy Fe–2%P–0.042%C sample with a magnification of x250, obtained on a metallographic microscope

GX-51 with a digital image analysis system of the "Olympus" company. This image has a light-stuck area, an irregular background, noise, insufficient contrast level for reliable analysis.

Experimental studies have shown that the usage of fuzzy sets T2 allows a transition to a multidimensional space for grayscale images and makes it possible to use multidimensional analysis methods for their processing; the proposed algorithm allows to improve the visual characteristics of optical microscopic images; the diagnostic significance of the obtained characteristics is determined by the initial data and the purpose of the analysis.

Ахметшина Людмила Георгиевна - профессор, д.т.н., профессор кафедры электронных вычислительных машин Днепроовского национального университета имени Олеся Гончара.

Егоров Артем Александрович - к.т.н., старший преподаватель кафедры компьютерных наук и информационных технологий Днепроовского национального университета имени Олеся Гончара.

Ахметшина Людмила Георгіївна - професор, д.т.н., професор кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Єгоров Артем Олександрович - к.т.н., старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Akhmetshina Lyudmila - doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Electronic Computing Machinery of the Oles Honchar Dnipro National University.

Yegorov Artyom - senior vikladach of Department of Computer Science and Information Technologies of the Oles Honchar Dnipro National University.

С.В. Быткин, Т.В. Критская

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATHCAD РОСТА СЛОЖНОСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ НЕДОСТАТОЧНОЙ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТНОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Аннотация. В среде MathCAD проведено моделирование и прогнозирование усложнения бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) космических аппаратов (КА), что связывается с недостаточной радиационной стойкостью элементной компонентной базы (ЭКБ). Предлагается внедрение в технологию БРЭА КА эффективных технологий увеличения радиационной стойкости активных при структур ИС на основе монокристаллов кремния, легированных германием (CZ-Si<P,Ge>.

Ключевые слова: прогнозирование, избыточность, недостаточная радиационная стойкость элементной компонентной базы

Постановка проблемы в общем виде. Использование КА для решения прикладных задач и научных проблем целесообразно и экономически оправдано только в случае их длительной безаварийной эксплуатации [1]. Значительные потенциальные риски с точки зрения обеспечения безаварийной эксплуатации КА, определяющие ресурс работы аппаратуры КА, связаны с неблагоприятными факторами космического пространства. Основным фактором риска для КА на орбитах внутри магнитосферы (от ионосферных до геостационарных высот), являются радиационные воздействия потоков заряженных частиц радиационных поясов Земли (преимущественно протонов и электронов e^-) на технологические системы КА. Наблюдается деградация солнечных батарей, сбои в работе электронных схем управления и связи КА; примерно треть всех наблюдаемых на КА отказов связаны с потоками ускоренных в магнитосфере релятивистских электронов внешнего радиационного пояса Земли. В англоязычной литературе такие электроны рассматриваются как «электроны-убийцы» (killer electrons). Факторы космического пространства, отрицательно влияющие на функционирование оборудования и аппаратуры КА, систематизированы в [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Экономические причины определяют рост требований к срокам активного функционирования (САФ) КА: необходимо создание КА со сроком эксплуатации на геостационарной орбите ≥ 15 лет, при реально достигаемой ≤ 8 [3], т.к. обеспечение длительных САФ ограничиваются недостаточной радиационной стойкостью электронной компонентной базы (ЭКБ) [4]. В работе [5] на примере группировки Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), состоящей из 8 спутников, показано, что длительность работы КА мониторинга окружающей среды в условиях протонного и электронного облучения существенно ниже ожидаемой, рис. 1:

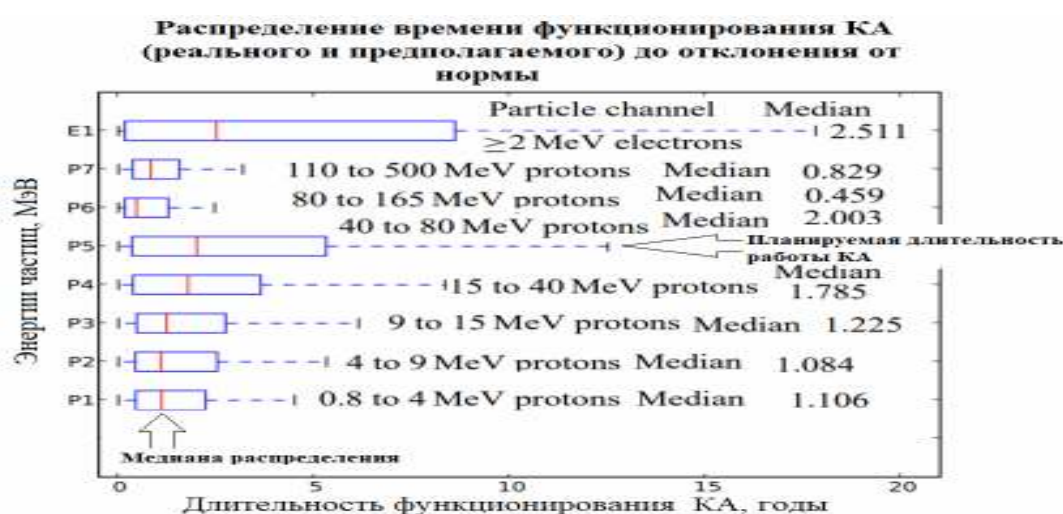
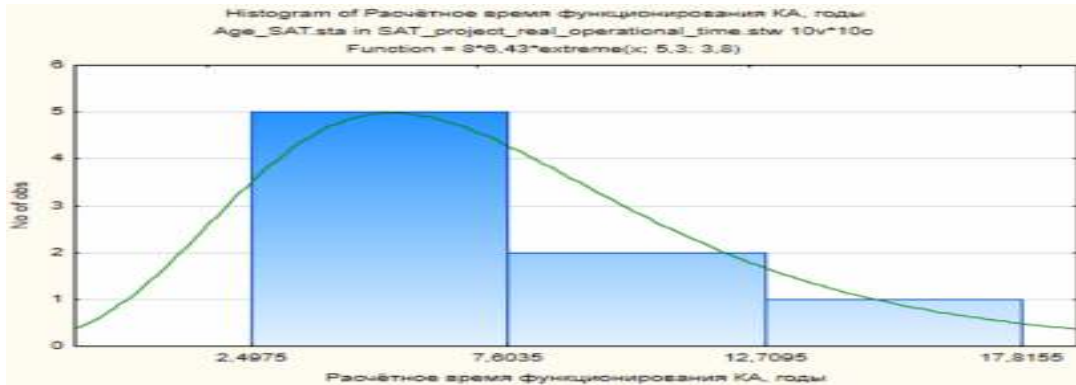
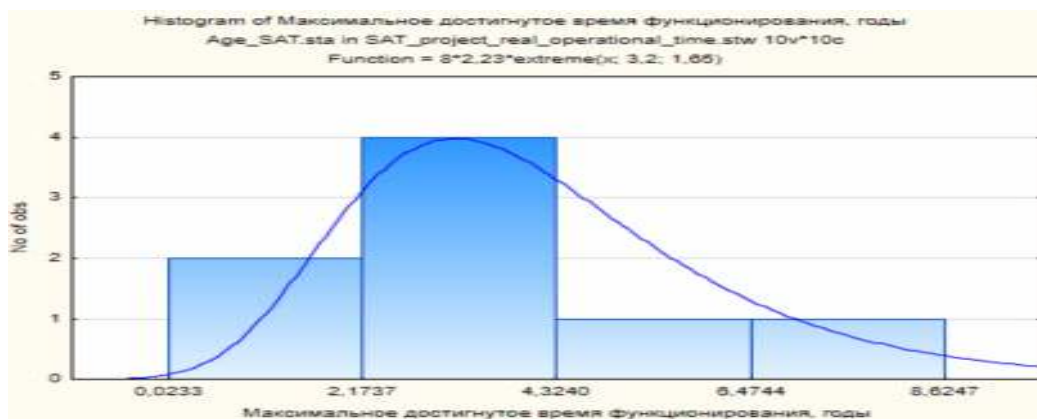


Рисунок 1 – Распределение фактических и прогнозируемых данных длительности функционирования КА (box and whisker representation).

Приведенный материал является не *информацией*, а *данными*, требующими дополнительной обработки с применением статистических методов [6], которая проведена после оцифрования меток, относящихся к реально достигнутому максимальному времени функционирования КА в различных условиях (энергия и тип облучения) и предполагаемой длительности работы КА до возникновения сбоев в работе аппаратуры. В среде STATISTICA10 построены соответствующие гистограммы, рис.2:



а)



б)

Рисунок 2 - Расчётное распределение количества наблюдений прогнозируемой (а) и максимально достигнутой (б) длительности функционирования КА по данным [Ошибка! Закладка не определена.

Сравнение распределений удобно проводить в Mathcad15, листинг 1:

Функция плотности распределения вероятности extreme value distribution в явном виде имеет вид:
$f(x) = \frac{1}{b} \cdot e^{\frac{-(x-a)}{b}} \cdot e^{-e^{\frac{-(x-a)}{b}}}$, где a – параметр местоположения, b – параметр масштаба, e – основание естественного логарифма
Параметры функции распределения (a, b) для прогнозируемых значений длительности функционирования (единица измерения – годы, переменная project_operational_time):
project_operational_time := 0.000001, 0.0001...30

$a_{\text{project_operational_time}} := 5.3$ $b_{\text{project_operational_time}} := 3.8$

$$f2(\text{project_operational_time}) := 8 \cdot 6.43 \cdot \frac{1}{b_{\text{project_operational_time}}} \cdot e^{-\frac{(\text{project_operational_time} - a_{\text{project_operational_time}})}{b_{\text{project_operational_time}}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(\text{project_operational_time} - a_{\text{project_operational_time}})}{b_{\text{project_operational_time}}}}}$$

Параметры функции распределения для реально достигнутых максимальных значений длительности функционирования (переменная $\text{max_operational_time}$):

$\text{max_operational_time} := 0.001, 0.01 \dots 20$

$a_{\text{max_operational_time}} := 3.255$

$$f1(\text{max_operational_time}) := 8 \cdot 2.23 \cdot \frac{1}{b_{\text{max_operational_time}}} \cdot e^{-\frac{(\text{max_operational_time} - a_{\text{max_operational_time}})}{b_{\text{max_operational_time}}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(\text{max_operational_time} - a_{\text{max_operational_time}})}{b_{\text{max_operational_time}}}}}$$

Средневзвешенное значение прогнозируемых значений длительности функционирования КА данной группировки до возникновения сбоев:

$$m_{\text{project_operational_time}} := \int_0^{\infty} \text{project_operational_time} \cdot \left[\frac{1}{b_{\text{project_operational_time}}} \cdot e^{-\frac{(\text{project_operational_time} - a_{\text{project_operational_time}})}{b_{\text{project_operational_time}}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(\text{project_operational_time} - a_{\text{project_operational_time}})}{b_{\text{project_operational_time}}}}} \right] d\text{project_operational_time}$$

$m_{\text{project_operational_time}} = 7.507$

Средневзвешенное значение, t , максимально достигнутых значений функционирования КА данной группировки до возникновения сбоев (годы):

$$m_{\text{max_operational_time}} := \int_0^{\infty} \text{max_operational_time} \cdot \left[\frac{1}{b_{\text{max_operational_time}}} \cdot e^{-\frac{(\text{max_operational_time} - a_{\text{max_operational_time}})}{b_{\text{max_operational_time}}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(\text{max_operational_time} - a_{\text{max_operational_time}})}{b_{\text{max_operational_time}}}}} \right] d\text{max_operational_time}$$

$m_{\text{max_operational_time}} = 4.153$

Расчёт дисперсии D и среднеквадратичного отклонения d максимально достигнутых значений функционирования КА данной группировки до возникновения сбоев (годы):

$$D_{\max_operational_time} := \frac{d_{D_max_operational_time} \cdot \sqrt{D_{\max_operational_time}}}{(max_operational_time - m_{\max_o} \cdot d_{D_max_operational_time}) \cdot e^{-e \cdot \frac{b_{\max_operational_time}}{d_{D_max_operational_time}}}}$$

$d_{D_max_operational_time} = 2.112$

Визуализация расчётов:



Наименование признака	Наиболее вероятное значение, годы	Средневзвешенное значение, годы
<u>Прогнозируемая</u> длительность функционирования КА	5,4	7,507 ± 4,747
<u>Достигнутые максимальные значения</u>	3,2	4,153

Листинг 1. Сравнительный анализ расчётной и максимальной длительности функционирования КА по данным [Ошибка! Залкада не определена.].

Выделение нерешенных научно-технических задач. Основной практически важной задачей является поиск технологических решений для увеличения длительности функционирования БРЭА КА.

Целью настоящей работы является расчётное прогнозирование увеличения сложности БРЭА при сохранении существующего уровня радиационной стойкости элементной компонентной базы (ЭКБ).

Изложение основного материала. Длительность функционирования КА увеличивают, в том числе, путём многократного резервирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА). При существующем технологическом уровне ЭКБ ($\approx 45\%$ отказов оборудования КА связаны с низким качеством элек-

тродорадиоизделий (ЭРИ), прежде всего, их радиационной стойкости. Работоспособность большинства находящихся на *геостационарной орбите* (ГСО) КА поддерживается за счет значительной *избыточности* ЭКБ БРЭА [7]. При высокой функциональной и аппаратной сложности электронных систем КА, оцениваемой количеством (тыс. шт.) применяемых в них комплектующих ЭРИ, для прогнозирования количества ЭРИ на КА используем данные, приведенные в [Ошибка! Закладка не определена., с. 4]. В MathCAD вычисления организованы следующим образом (листинг 2):

Обобщённые статистические данные (год, тыс. шт. ЭРИ):

```
data_KA_complexity :=
    (1979 12
     1982 23
     1986 65
     2000 90
     2004 100
     2012 120
     2014 150)

X_complexity := data_KA_complexity<0>
Y_complexity := data_KA_complexity<1>
```

Модель изменения количества ЭРИ в период до 1990г.:

```
a_KA_before_1990 := 9.016411    c_KA_before_1990 := 1984.897
b_KA_before_1990 := 1120.287    d_KA_before_1990 := 95.01448

f_KA_before_1990(year) := d_KA_before_1990 + (a_KA_before_1990 - d_KA_before_1990) /
    (1 + (year / c_KA_before_1990)^b_KA_before_1990)
```

Модель изменения количества ЭРИ 2000-2015 гг.

```
A1_after_1990 := 95    A2_after_1990 := 150
LOGx0_after_1990 := 2012.33333    p_after_1990 := 0.5
```

$$f_KA_after_1990(year) := A1_after_1990 + \frac{A2_after_1990 - A1_after_1990}{\left[1 + 10^{(LOGx0_after_1990 - year) \cdot p_after_1990}\right]}$$

Модель изменения количества ЭРИ после 2015 г.

$$f_KA_after_2015(year) := 1.3162 \cdot 10^{-29} \cdot \exp(0.0355 \cdot year)$$

Обобщённая модель для прогнозирования:

$$KA_complexity(year) := \begin{cases} f_KA_before_1990(year) & \text{if } year \leq 2005 \\ f_KA_after_1990(year) & \text{if } year \geq 2005 \\ f_KA_after_2015(year) & \text{if } year \geq 2015 \end{cases}$$

Листинг 2. Организация вычисления количества ЭРИ на КА.

Результаты расчётов проведены на рис. 3:

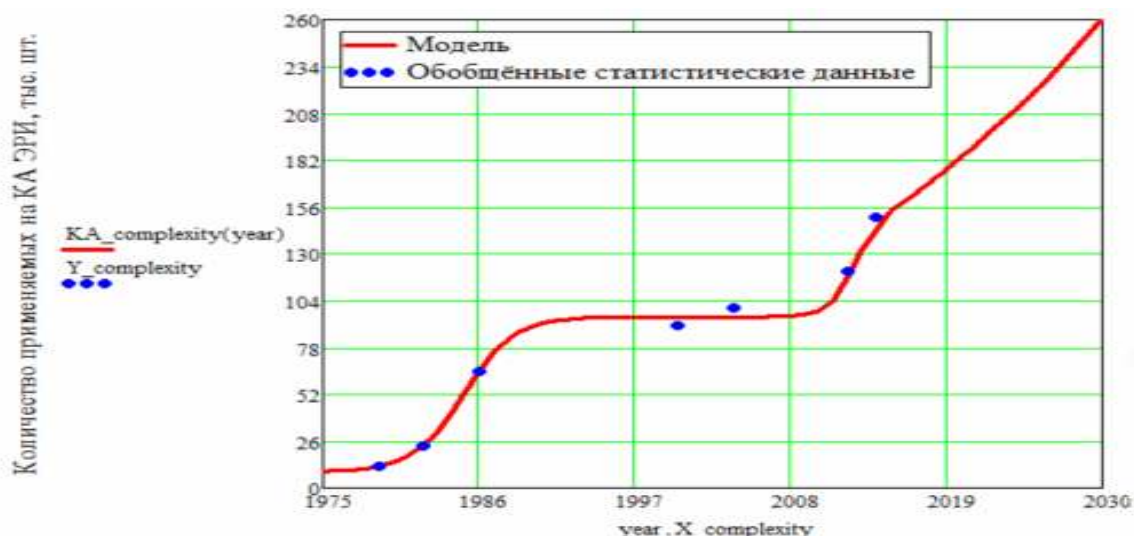


Рисунок 3 - Прогноз роста количества ЭРИ на КА связи

Быстрое увеличение сложности БРЭА приводит к негативным последствиям с точки зрения обеспечения надёжности КА [8]. Вероятность безотказной работы $P(t_q, \tau_1)$ в системе в интервале времени $(t_q, t_q + \tau_1, \tau_1 = t_{q+1} - t_q)$ равна

$$P(t_q, \tau_1) = \exp \left[- \int_{t_q}^{t_q + \tau_1} \sum_{i=k,m,n} \Lambda_i(\tau) \cdot d\tau \right]$$

$\Lambda_i(\tau)$ - интенсивность отказов, связанных со спецификой конструкции элементов компонентной базы (например, деградация h_{21E} транзисторов ИС) ($i = k$), либо в результате параметрических отказов элементов (например, уровня логических сигналов (U_{OL}) элементов ($i=m$), либо по причинам, обусловленным действием факторов космического пространства (галактические космические лучи, протоны солнечного ветра) или плазмы, окружающей КА ($i=n$).

Увеличение сложности БРЭА КА приводит к уменьшению вероятности её безотказной работы, а увеличение радиационной стойкости ЭКБ позволит отказаться от избыточного резервирования.

Выводы из проведенного исследования и перспективы дальнейшего поиска. Необходимо внедрение в технологию БРЭА КА эффективных технологий увеличения радиационной стойкости активных при структур ИС. В частности, показана возможность замедления радиационной деградации h_{21E} тестовых при структур ИС с диэлектрической изоляцией, изготовленных на основе монокристаллов кремния, легированных германием(CZ-Si<P,Ge>)[9].

REFERENCES

1. Morozova Ye.I. Radiatsionnyye faktory riska dlya kosmicheskikh apparatov. / Ye.I. Morozova, I.P. Bezrodnykh V.T. Semenov Voprosy elektromekhaniki. T. 112. 2009. S. 35-40.
2. Mazur J. E. An Overview of the Space Radiation Environment. Crosslink. The Aerospace Corporation Magazine of advances in aerospace technology. Summer 2003. Vol. 4 No. 2, pp. 12 – 16.
3. Sevast'yanov N.N. Osnovy upravleniya nadezhnost'yu kosmicheskikh apparatov s dlitel'nymi srokami ekspluatatsii / N.N.Sevast'yanov, A.I. Andreyev. pod obshch. red. N.N. Sevast'yanova. – Tomsk: Izdatel'skiy Dom TGU, 2015. – 266 s.
Radiatsionnyye efekty v kosmose. Chast' 3. Vliyaniye ioniziruyushchego izlucheniya na izdeliya elektronnoy tekhniki / I. P. Bezrodnykh, A. P. Tyutnev,
4. V. T. Semonov. – М.: АО «Корпорация «VNIIEМ», 2017. – 64 s.
5. Welling D. T.. The long-term effects of space weather on satellite operations. Ann. Geophys., 28, 1361–1367, 2010. www.ann-geophys.net/28/1361/2010/
doi:10.5194/angeo-28-1361-2010

6. Orazbayev B.B. Teoriya i metody sistemnogo analiza: uchebnoye posobiye. / B.B. Orazbayev, L.T. Kurmangaziyeva, SH.K. Kodanova. – M.: Izdatel'skiy dom Akademii Yestestvoznaniya, 2017. – 248
7. Akhmetov R. N. Osobennosti upravleniya zhivuchest'yu kosmicheskikh apparatov monitoringa Zemli / R. N. Akhmetov, V. P. Makarov, A. V. Sollogub Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta 4 (35) 2012 g. S. 18-28.
8. Zelenskiy A.V. Nadezhnost' slozhnykh elektronnykh sistem spetsial'nogo naznacheniya: elektron, ucheb. posobiye / A. V. Zelenskiy, B. A. Zelenskiy; Minobrnauki Rossii. Samar. gos. aerokosm. un-t im. C.P. Koroleva (nats. issled. un-t). Samara 2012. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://rtfmoodle.ssau.ru>
9. Bytkin S.V. T.V. Kritskaya. Modelirovaniye degradatsii h21E testovykh npnstruktur, izgotovlennykh na kremnii, legirovannom germaniyem, v vychislitel'noy srede OriginPRO / S.V. Bytkin, T.V. Kritskaya. Materialy II mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (12-13 noyabrya 2020-go goda) «Aktual'nyye voprosy prikladnoy fiziki i energetiki». Sumgait'skiy gosudarstvennyy universitet (Azerbaydzhan). S.117-122.

Received 28.04.2021.

Accepted 11.05.2021.

***Прогнозування в середовищі mathcad зростання складності бортової апаратури
космічних апаратів при недостатньої радіаційної стійкості
елементної компонентної бази***

Економічні причини визначають зростання вимог до термінів активного функціонування космічних апаратів. Необхідно забезпечення терміну їх експлуатації на геостаціонарній орбіті ≥ 15 років, при реально досягаємому ≤ 8 . Забезпечення тривалих термінів активного функціонування обмежуються недостатньою радіаційною стійкістю електронної компонентної бази. На прикладі угруповання *Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES)*, що складається з 8 супутників, показано, що тривалість роботи апаратів моніторингу навколишнього середовища в умовах протонного і електронного опромінення істотно нижча за очікувану. Основним практично важливим завданням є пошук технологічних рішень для збільшення тривалості функціонування бортовий радіоелектронної апаратури космічних апаратів (БРЕА).

Метою цієї роботи є розрахункове прогнозування збільшення складності БРЕА при збереженні існуючого рівня радіаційної стійкості елементної компонентної бази.

У середовищі MathCAD проведено моделювання і прогнозування ускладнення бортовий радіоелектронної апаратури космічних апаратів, що пов'язується з недостатньою радіаційною стійкістю елементної компонентної бази. Пропонується впровадження в технологію виготовлення бортової радіоелектронної апаратури ефективних технологій збільшення радіаційної стійкості активних при структур ІС на основі монокристалів кремнію, легованих германієм (CZ-Si <P, Ge>).

***Forecasting in the mathcad environment of the increasing complexity
of the on-board equipment of space vehicles with insufficient radiation resistance
of the elementary component base***

Economic reasons determine the growth of requirements for the terms of active operation of spacecraft. It is necessary to ensure their service life in the geostationary orbit ≥ 15 years, with the actually attainable ≤ 8 . Provision of long periods of active functioning is limited by insufficient radiation resistance of the electronic component base. Using the example of the Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) constellation, which consists of 8 satellites, it is shown that the duration of operation of environmental monitoring devices under conditions of proton and electron irradiation is significantly lower than expected.

The main practically important task is the search for technological solutions to increase the duration of the operation of the onboard radio electronic equipment of spacecraft (BREA).

In the MathCAD environment, modeling and forecasting of the complication of the on-board radio-electronic equipment of space vehicles was carried out, which is associated with insufficient radiation resistance of the elementary component base. It is proposed to introduce effective technologies for increasing the radiation resistance of active npn IC structures based on silicon single crystals doped with germanium (CZ-Si <P, Ge>) into the technology of manufacturing on-board electronic equipment.

Биткін Сергій Віталійович – к.т.н., доцент, здобувач, Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, м Запоріжжя, Україна.

Критська Тетяна Володимирівна – д.т.н., професор, завідувачка кафедри мікроелектронних і електронних інформаційних систем, Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, м Запоріжжя, Україна.

Быткин Сергей Витальевич – к.т.н., доцент, соискатель, Инженерный учебно-научный институт Запорожского национального университета, г. Запорожье.

Критская Татьяна Владимировна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой микроэлектронных и электронных информационных систем, Инженерный учебно-научный институт Запорожского национального университета, г. Запорожье.

Bytkin Sergey Vital'evich - Cand.Tech.Sci., AssociateProf., Applicant, Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporozhye National University, Zaporozhye.

Kritskaya Tatyana Vladimirovna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Microelectronic and Electronic Information Systems, Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporozhye National University, Zaporozhye.

А.В. Бубліков, Н.С. Прядко, К.В. Тернова, К.В. Соснін

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РЕЖИМУ РУЙНУВАННЯ ВУГІЛЬНОГО МАСИВУ ВИКОНАВЧИМ ОРГАНОМ ОЧИСНОГО КОМБАЙНА

Актуальність тематики даної роботи визначається необхідністю зменшення питомих енерговитрат на руйнування органом очисного комбайна вугільного масиву шляхом автоматизації процесу керування швидкістю обертання органу, що дозволить підтримувати енергоефективний режим різання різцями вугілля в умовах змінних гірничо-геологічних властивостей пласта. В роботі описано інформаційний критерій ідентифікації режимів руйнування органом вугільного пласта через статистичний аналіз активної потужності двигуна приводу різання, та проведені дослідження закономірності його зміни у часі для різних умов роботи комбайна. На основі цього ідентифікацію режимів руйнування органом вугільного пласта запропоновано здійснювати за допомогою переходу до відповідної лінгвістичної величини з використанням теорії нечіткої логіки. Обґрунтовані терми цієї лінгвістичної величини та визначені їх функції належності. Таким чином, створена база для подальшої розробки системи нечіткого автоматичного керування режимом руйнування органом вугільного пласта.

Ключові слова: ідентифікація, питомі енерговитрати, режим руйнування вугільного пласта, очисний комбайн.

Постановка проблеми. Сьогодні очисні комбайни нового покоління мають високорозвинену інформаційну компоненту [1], але її потенціал за умови вирішення проблеми автоматизації процесів керування комбайном майже не використовується. Єдиним параметром, яким наразі здійснюється автоматичне керування, є швидкість подачі комбайна [2]. Підтвердженням відсутності реалізації високого потенціалу сучасних гірничих машин, що мають високорозвинену інформаційну компоненту, є те, що 59% усіх очисних забоїв в Україні працюють з суттєво заниженою добовою продуктивністю менше 1000 тон вугілля [3,4]. Одною з основних причин цього є відсутність підходу щодо автоматизації процесів керування гірничими машинами на базі їх високорозвинених інформаційних компонент.

Наслідком відсутності вирішення проблеми автоматизації процесів керування комбайном є значне зменшення ефективності його роботи через людський фактор. Оператор з помічником вимушені постійно переміщуватися вздовж забою поруч з комбайном, й керувати ним у вкрай складних та небезпечних умовах. Крім того, на малих інтервалах часу оператори машин фізично не в змозі належним чином проаналізувати великий потік інформації від інформаційної компоненти і, отже, прийняти оптимальне рішення в умовах динамічно мінливих непередбачуваним чином ситуацій [5]. Підтвердженням цього є обґрунтування часу прийняття рішення оператором за умови значної кількості джерел інформації у роботі [6]. Також, оператор не в змозі проводити складний аналіз інформації й, таким чином, виявляти приховані закономірності в інформаційних сигналах, які допомагають поліпшити якість керування машиною.

Для очисних комбайнів сучасного покоління властиве складне конструктивне виконання, через що ці машини за умови їх аналізу розглядаються як сукупність окремих конструктивних вузлів, кожен з яких є повноцінним та складним механізмом, що виконує певну функцію у складі машини [7]. Одним з таких вузлів є підсистема приводу виконавчого органу, яка призначена для забезпечення обертального руху цього органу з необхідними швидкістю та рушійним моментом.

Найближчим відомим рішенням проблеми автоматизації процесу керування швидкістю обертання виконавчого органу є принцип підпорядкованого керування швидкостями різання й подачі комбайна [2]. В цьому рішенні припускається, що оптимальна товщина стружки вугілля, що знімається різцями органу, яка відповідає мінімальним питомим енерговитратам на руйнування вугільного масиву, є незмінною у процесі роботи комбайна величиною, що залежить лише від конструктивних параметрів органу. Але, для верхнього виконавчого органу комбайна ця оптимальна товщина стружки є змінною величиною, оскільки зі зміною гіпсометрії пласта змінюється кут охоплення органом масиву вугілля й, відповідно, змінюється відношення швидкостей різання та подачі, при яких спостерігається енергоефективний режим руйнування органом масиву. Таким чином, необхідний новий підхід щодо автоматизації процесу керування швидкістю обертання верхнього виконавчого органу, який передбачає формування керуючого впливу на основі розпізнавання режимів руйнування органом масиву.

Мета роботи – визначення інформаційного критерію для розпізнавання режиму руйнування вугільного масиву виконавчим органом очисного комбайна.

У якості інструмента досліджень використовується комплексна імітаційна модель очисного комбайна як мехатронного агрегату, що описана у роботі [7], яка створена на основі відомих та апробованих математичних моделей, що описують процеси у різних конструктивних вузлах комбайна, та в яку закладені результати обробки експериментальних даних, отриманих при випробуванні очисного комбайна УКД300 в умовах пласта C_5 шахти «Павлоградська» Донецького басейну.

У роботі [8] обґрунтовані енергоефективний та неенергоефективний режими руйнування виконавчим органом вугільного масиву, та визначена індикативна подія, що дозволяє їх ідентифікувати. Цією подією є зміна виду різання різцями виконавчого органу очисного комбайну масиву вугілля й породи, внаслідок чого відбувається суттєва зміна характеру залежності середніх питомих енерговитрат на руйнування виконавчим органом масиву від товщини стружки. За умови настання енергетично неефективного виду різання різцями вугілля відбувається суттєве збільшення величини приросту середніх питомих енерговитрат на різання вугілля при зміні товщини стружки на певну величину.

Таким чином, для ідентифікації режимів руйнування органом вугільного масиву необхідно, по перше, дискретно у часі змінювати товщину стружки, а по друге – усереднювати питомі енерговитрати для кожного значення товщини стружки. Динаміка питомих енерговитрат на різання вугілля фактично повторює динаміку потужності двигуна приводу різання. Тож, з оглядом на інерційність зміни товщини стружки через інерційність приводів різання та подачі комбайна, у процесі усереднення повинні бути усунені високочастотна та середньо-частотна складові питомих енерговитрат.

Також, з оглядом на те, що прийняття рішення системою відбувається на короткому часовому інтервалі (декілька секунд), низькочастотна складова питомих енерговитрат на різання вугілля залишається. Це призводить до того, що залежність середніх питомих енерговитрат на різання вугілля від товщини стружки є нестационарною. За цією причиною ідентифікація режимів руйнування масиву виконавчим органом повинна проводитися за відносним показником, що характеризує ступінь зміни середніх питомих енерговитрат за умови зміни товщини стружки. При цьому для оцінювання ступеню зміни середніх

питомих енерговитрат на двох сусідніх часових інтервалах задається різною й незмінною товщиною стружки, що знімається різцем, та на кожному інтервалі окремо проводиться усереднення питомих енерговитрат. Якщо тривалість двох сусідніх часових інтервалів незначна (до 10 с), низькочастотна складова питомих енерговитрат практично не впливає на відносний показник, що характеризує ступінь зміни питомих енерговитрат за умови зміни товщини стружки.

З урахуванням зазначеної індикативної події, за якою відбувається ідентифікація режимів руйнування виконавчим органом масиву, та означених вище особливостей щодо фіксування цієї події за усередненими питомими енерговитратами, у якості інформаційного критерію пропонується відносний показник різності питомих енерговитрат, що усереднені на коротких сусідніх часових інтервалах з завданням на кожному інтервалі різної товщини стружки:

$$INF_CR = \frac{H_{cp.1} - H_{cp.2}}{H_{cp.1}},$$

де $H_{cp.1}$ та $H_{cp.2}$ – питомі енерговитрати на різання масиву вугілля різцями, усереднені, відповідно, на першому та другому часових інтервалах, кВт·год/т.

За умови незмінності швидкості подачі на обох часових інтервалах усереднення питомих енерговитрат, та з урахуванням пропорційної залежності продуктивності комбайна від швидкості подачі, ступінь різності між питомими енерговитратами на різання вугілля різцями, що визначені для різних швидкостей обертання виконавчого органу, можна оцінювати за ступенем різності середніх потужностей:

$$INF_CR = \frac{P_{cp.1} - P_{cp.2}}{P_{cp.1}},$$

де $P_{cp.1}$ та $P_{cp.2}$ – потужність двигуна приводу різання очисного комбайна, усереднена, відповідно, на першому та другому часових інтервалах, кВт.

Обґрунтуємо величину зміни товщини стружки $\Delta h_{стр}$ для визначення індикативної події зміни характеристик режиму руйнування різцями масиву вугілля. Через неповне усунення впливу на середнє значення потужності високочастотної та середньочастотної складових чіткий інформаційний критерій буде змінюватись випадковим чином навіть за умови відсутності зміни режиму руйнування виконавчим органом масиву вугілля. На рис.1 наведені результати статистичної оцінки характеру розподілу значень чіткого інформаційного критерію за умови відсутності зміни режиму руйнування виконавчим органом комбайна масиву (взятий за основу енергоефективний режим) для різних ре-

жимів роботи очисного комбайна та гірничо-геологічних властивостей вугільного пласта.

З аналізу рис.1 можна зробити висновок, що незалежно від швидкості обертання виконавчого органу комбайна (товщини стружки, що знімається різцем) зі збільшенням опірності вугілля різанню ширина діапазону зміни значень чіткого інформаційного критерію також збільшується. З іншої сторони, збільшення швидкості обертання виконавчого органу очисного комбайна також призводить до збільшення ширини діапазону зміни значень чіткого інформаційного критерію.

Тож, можна зробити висновок, що самими несприятливими умовами, що призводять до максимального впливу високочастотної та середньо-частотної складових потужності на чіткий інформаційний критерій, є робота комбайна на вугільному пласті з найбільшою опірністю вугілля різанню та з максимальною швидкістю обертання виконавчого органу.

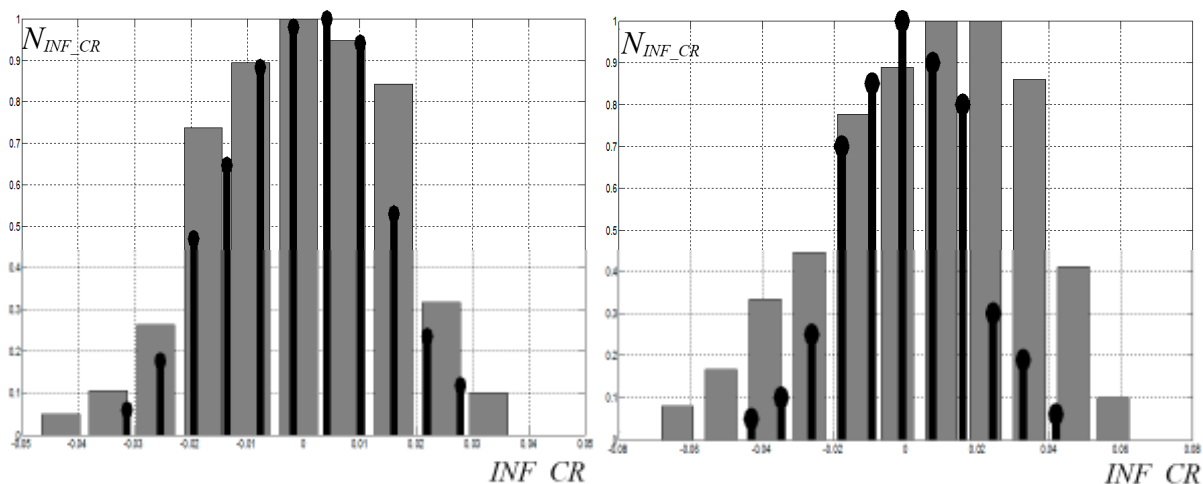


Рисунок 1 – Нормовані гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію для енергоефективного режиму при частоті обертання виконавчого органу: а – 60 об/хв; б – 110 об/хв (гістограми з широкими стовпцями та сірою заливкою – для опірності вугілля різанню 410 Н/мм, гістограми з вузькими стовпцями та чорною заливкою – для опірності вугілля різанню 120 Н/мм)

Таким чином, за основну характеристику, що визначає розподіл значень чіткого інформаційного критерію при енергоефективному режимі руйнування виконавчим органом масиву, візьмемо гістограму з сірою заливкою на рис.1,б, що відповідає найбільш несприятливим умовам з точки зору впливу на інформаційний критерій високочастотної та середньо-частотної складових потужності.

З аналізу гістограми з сірою заливкою на рис.1,б можна зробити висновок, що для фіксування з високим ступенем вірогідності індикативної події зміни режиму руйнування масиву виконавчим органом, показник відносної різності середньої потужності при зміні товщини стружки повинен бути не менше 0,065. Інакше вплив високочастотної та середньо-частотної складових потужності на інформаційний критерій буде у багатьох випадках призводити до помилкової ідентифікації зміни режиму руйнування масиву виконавчим органом.

Для обґрунтування величини зміни товщини стружки на другому інтервалі усереднення, що достатня для ідентифікації зміни режиму руйнування виконавчим органом масиву з високим ступенем вірогідності, проведена апроксимація експериментальної залежності питомих енерговитрат від товщини стружки на рис.4.25,а ступеневим поліномом високого порядку методом найменших квадратів. Результат апроксимації показаний на рис.2,а, на якому експериментальна залежність показана круглими маркерами, а графік апроксимуючої функції $F_H(h)$ – суцільною лінією.

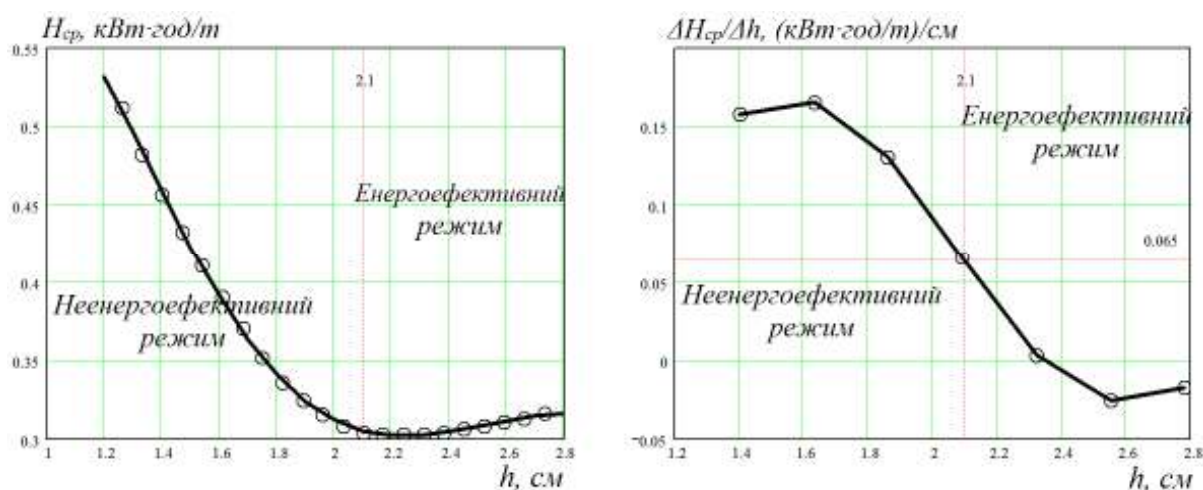


Рисунок 2 – Статична залежність від стружки вугілля: а – питомих енерговитрат на різання вугілля; б – величини зміни середніх питомих енерговитрат на різання вугілля при зміні товщини стружки (крок зміни товщини стружки 0,23 см)

Апроксимована залежність питомих енерговитрат, на відміну від експериментальної, дозволяє отримувати залежність відносного показника зміни питомих енерговитрат на різання вугілля від товщини стружки для будь-якого кроку зміни товщини стружки. Тож, на основі функції $F_H(h)$ було визначено такий крок зміни товщини стружки $\Delta h_{стр}$ ($\Delta h_{стр} = 0,23$ см), при якому виконувалася умова (рис.2,б):

$$\frac{F_H(2,1) - F_H(2,1 + \Delta h_{стр})}{F_H(2,1)} = 0,065 \quad (1)$$

У формулі (1) значення товщини стружки 2,1 см, поблизу якого забезпечується відносний показник зміни питомих енерговитрат на різання вугілля на рівні 0,065, відповідає межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву виконавчим органом комбайна.

Таким чином, можна зробити висновок, що для ідентифікації з високим ступенем вірогідності зміни енергоефективного режиму руйнування виконавчим органом масиву на неенергоефективний товщина стружки на першому та другому інтервалах усереднення потужності двигуна приводу різання повинна різнитися на 0,23 см.

За умови забезпечення зміни товщини стружки на 0,23 см за рахунок зміни швидкості обертання виконавчого органу формула для розрахунку величини зміни швидкості обертання виконавчого органу на другому часовому інтервалі буде наступною:

$$\Delta n_{об} = n_{об.1} - \frac{50 \cdot V_n \cdot n_{об.1}}{n_{об.1} \cdot \Delta h_{стр} + V_n \cdot 50}, \text{ об/хв,}$$

де $n_{об.1}$ – швидкість обертання виконавчого органу комбайна на першому часовому інтервалі усереднення потужності двигуна приводу різання, об/хв; V_n – швидкість подачі очисного комбайна, м/хв; $\Delta h_{стр}$ – різниця товщин стружки, що знімається різцем, на першому та другому сусідніх часових інтервалах усереднення потужності, см.

Дослідження закономірності зміни інформаційного критерію показали, що за умови протікання обох режимів руйнування органом вугільного масиву він є випадковою величиною, що змінюється у різних діапазонах зміни значень (рис.1, рис.4). З урахуванням цього, цей критерій можна використати для переходу до лінгвістичної величини «Режим руйнування вугільного масиву органом комбайна», та на основі цієї величини формувати керуючий вплив щодо зміни режимів роботи комбайна на основі алгоритмів нечіткого виводу. Для цього для зазначеної лінгвістичної величини введемо терми «Енергоефективний» та «Неенергоефективний» та визначимо відповідні функції належності.

Функція належності для терму “Енергоефективний режим руйнування масиву різцями” визначається на основі гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію для енергоефективного режиму, що відповідає най-

більш несприятливим умовам з точки зору впливу на інформаційний критерій високочастотної та середньо-частотної складових потужності (гістограма з сірою заливкою на рис.1,б).

Усі від’ємні значення чіткого інформаційного критерію мають однаковий смисл та говорять про протікання енергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом комбайна (перебування правіше мінімального екстремуму графіку на рис.2,а). Тож, проведемо апроксимацію лише правої частини гістограми з сірою заливкою на рис.1,б за її трьома останніми частотами. Результат апроксимації гістограми показаний на рис.3,а.

Аналіз рис.3,а показує, що з достатньою точністю права частина гістограми апроксимується лінійним рівнянням. При цьому на значимому інтервалі діапазону зміни інформаційного критерію, коли ступінь належності терму більше 0,2, відносна похибка не перевищує 9% (рис.3,б). Суттєва похибка більше 10% після значення критерію 0,05 за віссю абсцис на рис.3,б пояснюється невеликими значеннями функції належності. Але зазначимо, що з точки зору логіки нечіткого керування розбіжності ступеню належності на 0,017 у діапазоні значень функції належності до 0,2 суттєвого впливу на алгоритм прийняття рішень не мають.

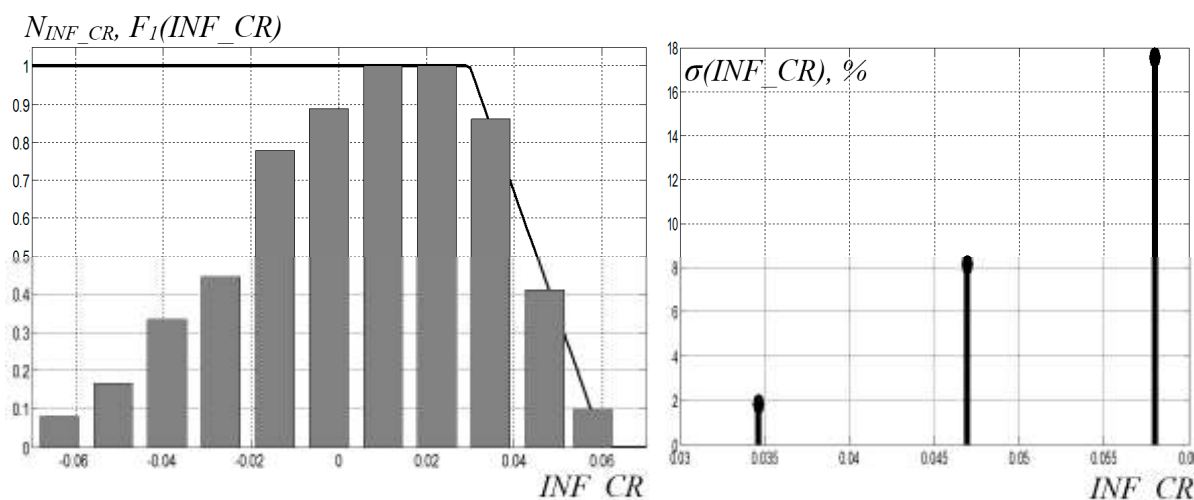


Рисунок 3 – Результат визначення функції належності для терму «Енергоефективний режим різання» за запропонованим інформаційним критерієм (а) та похибки апроксимації гістограми вибірки значень інформаційного критерію (б)

З урахуванням результату апроксимації на рис.3,а, а також прийняття однакового смислу від’ємних значень чіткого інформаційного критерію (проти-

кання енергоефективного режиму) функція належності для терму “Енергоефективний режим руйнування масиву різцями” буде мати вигляд:

$$F_I(INF_CR) = \begin{cases} 1 & \text{if } INF_CR < 0,029; \\ f_I(INF_CR) & \text{if } 0,029 \leq INF_CR \leq 0,061; \\ 0 & \text{if } INF_CR > 0,061. \end{cases}$$

де $f_I(INF_CR)$ – функція, що апроксимує праву частину гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію при енергоефективному режимі руйнування масиву виконавчим органом комбайна:

$$f_I(INF_CR) = -32,6035 \cdot INF_CR + 1,9734$$

Для визначення функції належності для терму “Неенергоефективний режим руйнування масиву різцями” проведемо статистичну оцінку характеру розподілу значень чіткого інформаційного критерію за умови протікання не-енергоефективного режиму руйнування виконавчим органом масиву для різних режимів роботи очисного комбайна та гірничо-геологічних властивостей вугільного пласта (рис.4).

Аналіз рис.4 показує, що незалежно від швидкості переміщення очисного комбайна відносний показник різності середніх потужностей на сусідніх часових інтервалах з різною товщиною стружки зменшується за умови зменшення опірності вугілля різанню. З іншої сторони, цей показник зменшується, але з набагато меншою інтенсивністю, зі зменшенням швидкості переміщення очисного комбайна.

Таким чином, можна зробити висновок, що найбільш несприятливими умовами для ідентифікації з високим ступенем вірогідності неенергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом, при яких показник різності середніх потужностей на сусідніх часових інтервалах з різною товщиною має мінімальні значення, є переміщення очисного комбайна з незначною швидкістю на вугільному пласті з незначною опірністю вугілля різанню. Цим умовам відповідає гістограма з сірою заливкою на рис.4,б. Тож, прийнемо цю гістограму за основу при визначенні функції належності для терму “Неенергоефективний режим руйнування масиву різцями”.

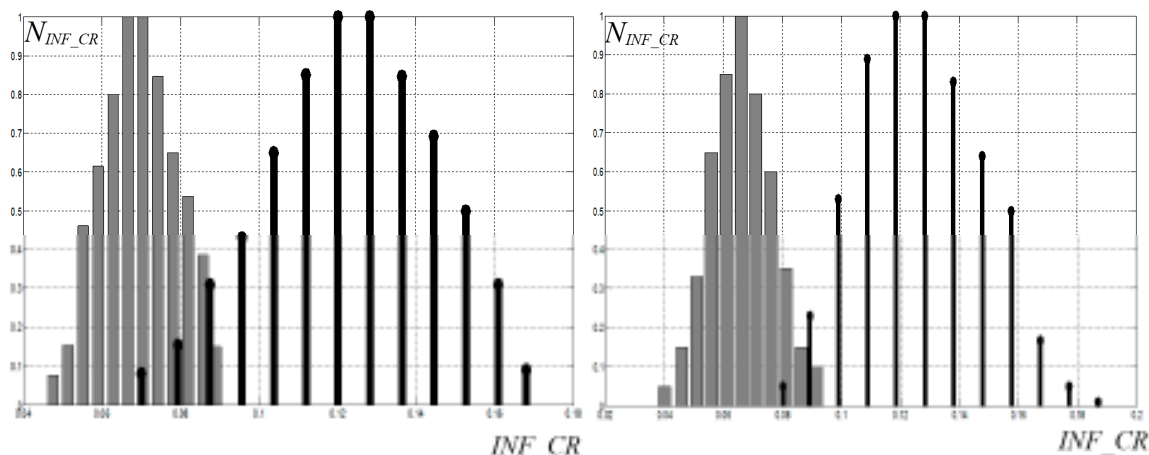


Рисунок 4 – Нормовані гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію для неенергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом при швидкості подачі: а – 2,8 м/хв; б – 2 м/хв (гістограми з широкими стовпцями та сірою заливкою – для опірності вугілля різанню 120 Н/мм, гістограми з вузькими стовпцями та чорною заливкою – для опірності вугілля різанню 410 Н/мм)

Усі значення чіткого інформаційного критерію, що більше значення 0,065, мають однаковий смисл та говорять про протікання неенергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом комбайна. Тож, проведемо апроксимацію лише лівої частини гістограми з сірою заливкою на рис.4,б за її шістьма першими частотами. Результат апроксимації гістограми показаний на рис.5,а.

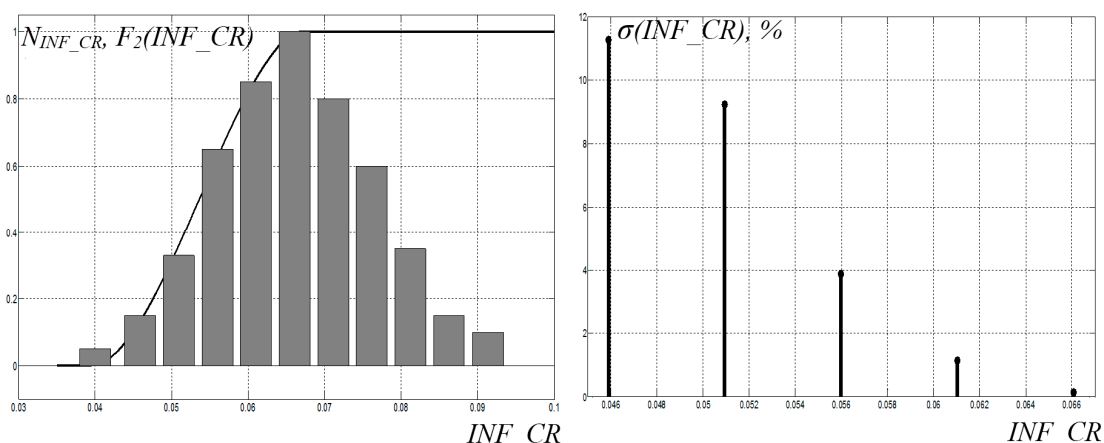


Рисунок 5 – Результат визначення функції належності для терму «Неенергоефективний режим різання» за запропонованим інформаційним критерієм (а) та похибки апроксимації гістограми вибірки значень інформаційного критерію (б)

Аналіз рис.5,а показує, що з достатньою точністю ліва частина гістограми апроксимується ступеневим поліномом третього порядку. При цьому на значимому інтервалі діапазону зміни інформаційного критерію, коли ступінь належності терму більше 0,2, відносна похибка не перевищує 10% (рис.5,б). Суттєва похибка більше 10% до значення критерію 0,05 за віссю абсцис на рис.5,б пояснюється невеликими значеннями функції належності. Але зазначимо, що з точки зору логіки нечіткого керування розбіжності ступеню належності на 0,02 у діапазоні значень функції належності до 0,2 суттєвого впливу на алгоритм прийняття рішень не мають.

З урахуванням результату апроксимації на рис.5,а, а також прийняття однакового смислу значень чіткого інформаційного критерію, що більше значення 0,065, (протікання неенергоефективного режиму) функція належності для терму “Неенергоефективний режим руйнування масиву різцями” буде мати наступний вигляд:

$$F_2(INF_CR) = \begin{cases} 0 & \text{if } INF_CR < 0,04; \\ f_2(INF_CR) & \text{if } 0,04 \leq INF_CR \leq 0,066; \\ 1 & \text{if } INF_CR > 0,066. \end{cases}$$

де $f_2(INF_CR)$ – функція, що апроксимує ліву частину гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію при неенергоефективному режимі руйнування масиву виконавчим органом комбайна:

$$f_2(INF_CR) = -8,61 \cdot 10^4 \cdot INF_CR^3 + 1,39 \cdot 10^4 \cdot INF_CR^2 - 6,94 \cdot 10^2 \cdot INF_CR + 11,037$$

Висновки. За умови зміни режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом очисного комбайна при незмінній швидкості подачі відбувається суттєве зміщення діапазону зміни середнього значення високочастотної та середньо-частотної складових потужності двигуна приводу різання. Це дозволило за чіткий інформаційний критерій характеристик режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна прийняти відносний показник різності потужностей двигуна приводу різання, що усереднені на двох сусідніх часових інтервалах тривалістю 2,65 с з різною товщиною стружки. Аналіз ступеню відмінності середніх потужностей на двох коротких часових інтервалах, сумарна тривалість яких менше 10 с, дозволяє запобігти впливу на інформаційний критерій низькочастотної складової потужності двигуна приводу різання.

Встановлено, що для фіксування з високим ступенем вірогідності зміни режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна на основі відносного показника різності потужностей двигуна приводу різання, що усе-

реднені на двох сусідніх часових інтервалах тривалістю 2,65 с, товщина стружки на часових інтервалах усереднення потужності повинна відрізнятись на 0,23 см.

На основі аналізу гістограм розподілу значень чіткого інформаційного критерію для різних гірничо-геологічних умов вугільних пластів та режимів роботи очисного комбайна для ідентифікації характеристик режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом на основі нечіткої логіки при фазифікації інформаційного критерію запропоновано використовувати Z та S-подібні функції належності термів «Енергоефективний» та «Неенергоефективний» лінгвістичної величини «Режим руйнування вугільного масиву органом комбайна». Оскільки характер розподілу значень інформаційного критерію є різним в залежності від умов та режимів роботи комбайна, у якості функцій належності використовуються функції, що визначені у результаті апроксимації гістограм розподілу значень чіткого інформаційного критерію для найбільш несприятливих умов з точки зору використання критерію.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Горбатов П.А., Косарев В.В., Стадник Н.И. Концептуальная характеристика сложных горных машин как мехатронных систем / П. А. Горбатов, В. В. Косарев, Н.И. Стадник // Наукові праці ДонНТУ. — Донецьк: ДонНТУ, 2006. — Вип. 104. — С. 53—61.
2. Использование имитационного моделирования для исследования системы автоматического управления добычным комбайном: монография / В.В. Ткачев, А.В. Бубликов. — Днепр: Национальный горный университет, 2015. — 182 с.
3. Николаев П.П. Исследование области рациональной эксплуатации очистного оборудования на шахтах Донбасса с помощью теории графов и программы STATISTICA / П.П. Николаев // материалы международной научно-практической конференции «Форумгорняков 2012». — Днепропетровск. — 2012. — НГУ — С 56 – 60.
4. Николаев П.П. Алгоритмы оптимизации сетевых моделей для выбора рациональных технологических цепочек очистного оборудования / П.П. Николаев, В.Г. Гринев // материалы международной научно-практической конференции «Форумгорняков 2013». — Днепропетровск. — 2013. — НГУ—С 90 – 95. URL: https://www.researchgate.net/publication/331496677_Algoritmy_optimizacii_setevyh_modelej_dla_vybora_racionalnyh_tehnologiceskih_cepoczek_ocistnogo_oborudovania

5. Danellie Lynas & Tim Horberry. (2011). Human Factor Issues with Automated Mining Equipment. The Ergonomics Open Journal, 4, 74-80. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/ff77/5e77eaebc8f657b81b9cd1f480b9aab1d285.pdf>
6. Панихидников С.А. Оценка подсистемы «человек-машина» (машинист горно-выемочных машин – очистной комбайн) в границах очистного забоя угольной шахты – один из методических элементов оценки системы промышленной безопасности угольной шахты / С.А. Панихидников, С.В. Новоселов, А.В. Куликович // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 227–233.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-podsistemy-chelovek-mashina-mashinist-gorno-vyemochnyh-mashin-ochistnoy-kombayn-v-granitsah-ochistnogo-zaboya-ugolnoy-shahty>
7. Бубліков А.В. Експертна система нечіткого автоматичного керування видобувним комбайном як частина мехатронної системи / А.В. Бубліков // Гірнича електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 2016. – Вип. 97. – С. 41 – 48.
8. Бубліков А.В. Створення баз правил для систем нечіткого автоматичного керування режимами роботи видобувного комбайна / А.В. Бубліков // Гірнича електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 2019. – Вип. 101. – С. 43 – 50.

REFERENCES

1. Gorbatov P.A., Kosarev V.V., Stadnik N.I. Kontseptualnaya harakteristika slozhnyih gorniy mashin kak mehatronnyih sistem / P.A. Gorbatov, V.V. Kosarev, N.I. Stadnik//NaukovI pratsI DonNTU.—Donetsk:DonNTU,2006—Vip.104.—S.53—61.
2. Ispolzovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya issledovaniya sistemyi avtomaticheskogo upravleniya dobyichnyim kombaynom: monografiya / V.V. Tkachev, A.V. Bublikov. – Dnep: Natsionalnyi gorniy universitet, 2015. – 182 s.
3. Nikolaev P.P. Issledovanie oblasti ratsionalnoy ekspluatatsii ochistnogo oborudovaniya na shahtah Donbassa s pomoschyu teorii grafov i programmy STATISTICA / P.P. Nikolaev // materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Forumgorniyakov 2012». — Dnepropetrovsk. — 2012. — NGU — S 56 – 60.
4. Nikolaev P.P. Algoritmyi optimizatsii setevyih modeley dlya vyibora ratsionalnyih tehnologicheskikh tsepohek ochistnogo oborudovaniya / P.P. Nikolaev, V.G. Grinev // materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Forumgorniyakov 2013». — Dnepropetrovsk. — 2013. — NGU — S 90 – 95.

5. Danellie Lynas & Tim Horberry. (2011). Human Factor Issues with Automated Mining Equipment. The Ergonomics Open Journal, 4, 74-80. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/ff77/5e77eaebc8f657b81b9cd1f480b9aab1d285.pdf>
6. Panihidnikov S.A. Otsenka podsistemyi «chelovek-mashina» (mashinist gornovyiemochnyih mashin - ochistnoy kombayn) v granitsah ochistnogo zaboya ugolnoy shahtyi - odin iz metodicheskikh elementov otsenki sistemyi promyshlennoy bezopasnosti ugolnoy shahtyi / S.A. Panihidnikov, S.V. Novoselov, A.V. Kulinkovich // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. - 2018. - № 10. - S. 227–233.
7. Bublikov A.V. Ekspertna systema nechitkoho avtomatychnoho keruvannia vydobuvnym kombainom yak chastyna mekhatronnoi systemy / A.V. Bublikov // Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka : nauk.-tekhn. zb. – D. : NHU, 2016. – Vyp. 97. – S. 41 – 48.
8. Bublikov A.V. Stvorennia baz pravyl dlia system nechitkoho avtomatychnoho keruvannia rezhymamy roboty vydobuvnoho kombaina /A.V. Bublikov//Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka:nauk.-tekhn zb.–D.:NHU,2019.–Vyp.101.–S.43–50.

Received 15.04.2021.

Accepted 17.04.2021.

**Идентификация режима разрушения угольного массива
исполнительным органом очистного комбайна**

Актуальность тематики данной работы определяется необходимостью уменьшения удельных энергозатрат на разрушение угольного массива органом очистного комбайна путем автоматизации процесса управления скоростью вращения органа, что позволит поддерживать энергоэффективный режим резания угля резцами в условиях изменчивых горно-геологических свойств пласта. В работе описан информационный критерий идентификации режимов разрушения угольного пласта органом через статистический анализ активной мощности двигателя привода резания, и проведены исследования закономерности его изменения во времени для различных условий работы комбайна. На основе этого идентификацию режимов разрушения угольного пласта органом предложено осуществлять с помощью перехода к соответствующей лингвистической величине с использованием теории нечеткой логики. Обоснованы термы этой лингвистической величины, и определены их функции принадлежности. Таким образом, создана база для дальнейшей разработки системы нечеткого автоматического управления режимом разрушения угольного пласта органом очистного комбайна.

The identification of mode of coal seam cutting by shearer's drum

The relevance of this work theme is determined by the need to reduce the specific energy consumption for the destruction of the coal seam by the shearer's drum by automating the process of controlling the rotation speed of the drum, which allows to maintain an energy-efficient mode of coal cutting with cutters under conditions of changing of seam mining and geological properties. In the paper the information criterion for identifying the modes of destruction of a coal seam by a drum through a statistical analysis of the active power of the cutting drive engine is described. Also, the regularities of change over time of this criterion for various operating conditions of the combine are investigated. On the basis of this, it is proposed to identify the modes

of destruction of a coal seam by a drum by means of a transition to the corresponding linguistic value using the theory of fuzzy logic. The terms of this linguistic value have been substantiated, and their membership functions have been determined. Thus, a basis has been created for the further development of fuzzy automatic control system of the destruction mode of a coal seam by a shearer's drum.

Прядко Наталія Сергіївна – провідний науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, д.т.н., с.н.с.

Бубліков Андрій Вікторович – професор кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», д.т.н., доцент;

Тернова Катерина Віталіївна – ст. науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, к.т.н.;

Соснін Костянтин Володимирович – доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н., доцент.

Прядко Наталия Сергеевна – ведущий научный сотрудник, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, д.т.н., с.н.с.;

Бубликов Андрей Викторович – профессор кафедры киберфизических и информационно-измерительных систем, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», д.т.н., доцент;

Терновая Екатерина Витальевна – научный сотрудник, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, к.т.н.;

Соснин Константин Владимирович – доцент кафедры киберфизических и информационно-измерительных систем, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», к.т.н., доцент.

Priadko Nataliia Serhiivna – Leading Researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Doctor of Technical Sciences.

Bublikov Andrii Viktorovych – Professor of Department of Cyberphysical and Information-measuring Systems, Dnipro University of Technology, Doctor of Technical Sciences.

Ternova Kateryna Vitaliivna - Researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, PhD.

Sosnin Kostiantyn Volodymyrovych – Associate Professor of Department of Cyberphysical and Information-measuring Systems, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І МЕТОД РІШЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ НЕЙМАНА ТЕПЛООБМІНУ ТІЛА ПІВСФЕРИЧНОЇ ФОРМИ

Анотація. У статті вперше побудована математична модель розрахунку температурних полів для півсферичного тіла у вигляді крайової задачі математичної фізики для гіперболічного рівняння теплопровідності з граничними умовами Неймана, а також знайдено температурне поле у вигляді збіжних рядів.

Ключові слова: комплексний ряд Фур'є, крайова задача Неймана, інтегральне перетворення Лапласа, час релаксації.

Постановка проблеми. Найважливішим завданням у вирішенні проблеми оцінки ресурсного потенціалу території на тверді корисні копалини є підвищення геологічної і техніко-економічної ефективності бурових робіт, що неможливо без сучасного техніко-технологічного забезпечення цих робіт. Буріння свердловин є основним способом розвідки корисних копалин. При цьому найбільш ефективним в даний час і доступному в майбутньому способом буріння свердловин в твердих породах є алмазне буріння із застосуванням алмазного бурового долота. Алмазне бурове долото в процесі роботи сильно нагрівається за рахунок тепловиділення в зоні контакту і охолоджується потужним потоком бурового розчину. Врахування дії температурного чинника створює основу для прогнозування можливої величини механічної швидкості алмазного буріння, сприяє правильному вибору технологічних параметрів, об'єктивного контролю їх в процесі буріння, дозволяє намітити шляхи вдосконалення алмазного інструменту. Питання підвищення продуктивності, якості та економічності буріння шляхом створення, впровадження та вдосконалення алмазних породоруйнуючих інструментів мають постійну актуальність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз праць [1-4] показав, що більшість результатів мають частковий характер, єдиний погляд на фізичну картину, що має місце при бурінні, відсутній, а відомі моделі не дають змогу прогнозувати температуру алмазного бурового долота з урахуванням кутової швидкості буріння та кінцевої швидкості поширення тепла.

Мета статті. Для моделювання температурного поля слід наблизити форму долота до класичного і зробити ряд розумних спрощень. З огляду на незначні розміри бурових алмазів в порівнянні з розмірами матриці, і їх високу теплопровідність, будемо вважати, що вплив геометрії алмазів незначний.

Метою роботи є побудова нової математичної моделі розрахунку температурних полів для півсферичного тіла, яке наближено моделює роботу алмазного долота, у вигляді крайової задачі математичної фізики а також знаходження рішень отриманої крайової задачі.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розглянемо розрахунок температурного поля тіла півсферичної форми у циліндричній системі координат (r, φ, z) радіуса R з твірною лінією $r = \sqrt{R^2 - (z - R)^2}$ з центром в точці $\left(0, \frac{\pi}{2}, R\right)$ (рис.1).

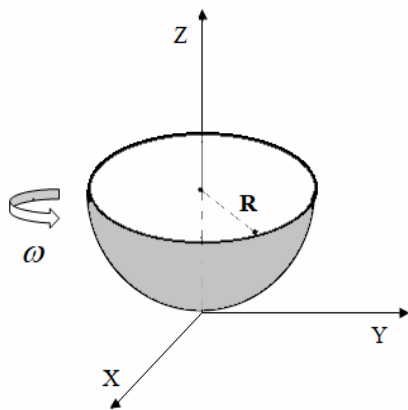


Рисунок 1 - Тіло півсферичної форми з твірною лінією $r = \sqrt{R^2 - (z - R)^2}$

Тіло обертається навколо осі OZ з постійною кутовою швидкістю ω , а швидкість поширення тепла є відомою величиною. Теплофізичні властивості тіла не залежать від температури, а внутрішні джерела тепла відсутні.

У початковий момент часу температура тіла постійна G_0 , а на бічній поверхні тіла відоме значення теплового потоку $V(\varphi, z)$. При $z=R$ відоме значення теплового потоку $G_1(r, \varphi)$.

В [5] отримано узагальнене рівняння переносу енергії для рушійного елемента суцільного середовища, з урахуванням скінченності величини швидкості поширення тепла. Згідно [5] узагальнене рівняння балансу енергії твердого тіла, яке обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ, тепло-

фізичні властивості якого не залежать від температури, а внутрішні джерела тепла відсутні, в циліндричній системі координат приймає вигляд:

$$\gamma c \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} + \omega \frac{\partial T}{\partial \varphi} + \tau_r \left[\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \omega \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi \partial t} \right] \right\} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

де γ – щільність середовища; c – питома теплоємність; $T(\rho, \varphi, z, t)$ – температура середовища; λ – коефіцієнт теплопровідності; t – час; τ_r – час релаксації.

Математично задача визначення температурного поля тіла полягає в інтегруванні диференціального рівняння теплопровідності (1) в області, $D = \left\{ (r, \varphi, z, t) \mid r \in \left(0, \sqrt{R^2 - (z - R)^2} \right), \varphi \in (0, 2\pi), z \in (0, R), t \in (0, \infty) \right\}$, що з урахуванням прийнятих допущень запишеться у вигляді:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \omega \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} + \tau_r \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \tau_r \omega \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi \partial t} = a \left[\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

з початковими умовами

$$\theta(r, \varphi, z, 0) = 0, \quad \frac{\partial \theta(r, \varphi, z, 0)}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

і граничними умовами

$$\int_0^t \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=\sqrt{R^2 - (z-R)^2}} e^{\frac{r-t}{\tau_r}} dr = G(\varphi, z), \quad \int_0^t \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=R} e^{\frac{z-t}{\tau_r}} dz = \Lambda(r, \varphi) \quad (4)$$

де $\theta = \frac{T(r, \varphi, z, t) - G_0}{T_{\max} - G_0}$ – відносна температура тіла; $G(\varphi, z) = \frac{V(\varphi, z) \tau_r}{\lambda(T_{\max} - G_0)}$; $\Lambda(r, \varphi) = \frac{G_1(r, \varphi) \tau_r}{\lambda(T_{\max} - G_0)}$; $G(\varphi, z), \Lambda(r, \varphi) \in C(0, 2\pi)$; $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ – коефіцієнт теплопровідності.

Тоді рішення крайової задачі (2)–(4) $\theta(r, \varphi, z, t)$ є двічі неперервно диференційованим за r, φ, z , один раз за t в області D і неперервним на $\bar{D}$ [6], тобто $\theta(r, \varphi, z, t) \in C^2(D) \cap C(\bar{D})$, а функції $G(\varphi, z), \Lambda(r, \varphi), \theta(r, \varphi, z, t)$, можуть бути розкладені в комплексний ряд Фур'є [6]

$$\begin{Bmatrix} \theta(r, \varphi, z, t) \\ G(\varphi, z) \\ \Lambda(r, \varphi) \end{Bmatrix} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \begin{Bmatrix} \theta_n(r, z, t) \\ G_n(z) \\ \Lambda_n(r) \end{Bmatrix} \cdot \exp(in\varphi), \quad (5)$$

$$\text{де } \begin{Bmatrix} \theta_n(r, z, t) \\ G_n(z) \\ \Lambda_n(r) \end{Bmatrix} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \begin{Bmatrix} \theta(r, \varphi, z, t) \\ G(\varphi, z) \\ \Lambda(r, \varphi) \end{Bmatrix} \cdot \exp(-in\varphi) d\varphi;$$

$$\theta_n(\rho, z, t) = \theta_n^{(1)}(\rho, z, t) + i\theta_n^{(2)}(\rho, z, t); \quad G_n(z) = G_n^{(1)}(z) + iG_n^{(2)}(z);$$

$$\Lambda_n(\rho) = \Lambda_n^{(1)}(\rho) + i\Lambda_n^{(2)}(\rho).$$

З огляду на те, що $\theta(r, \varphi, z, t)$ функція дійсна, надалі обмежимося розглядом $\theta_n(r, z, t)$ для $n=0, 1, 2, \dots$, тому що $\theta_n(r, z, t)$ і $\theta_{-n}(r, z, t)$ будуть комплексно спряженими [6]. Підставляючи значення функцій з (5) у (2)–(4), в результаті одержимо систему диференціальних рівнянь

$$\frac{\partial \theta_n^{(i)}}{\partial t} + g_n^{(i)} \theta_n^{(m_i)} + \tau_r \frac{\partial^2 \theta_n^{(i)}}{\partial t^2} + \tau_r g_n^{(i)} \frac{\partial \theta_n^{(m_i)}}{\partial t} = a \left[\frac{\partial^2 \theta_n^{(i)}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta_n^{(i)}}{\partial r} - \frac{n^2}{r^2} \theta_n^{(i)} + \frac{\partial^2 \theta_n^{(i)}}{\partial z^2} \right] \quad (6)$$

з початковими умовами

$$\theta_n^{(i)}(\rho, z, 0) = 0, \quad \frac{\partial \theta_n^{(i)}(\rho, z, 0)}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

і граничними умовами

$$\int_0^t \frac{\partial \theta_n^{(i)}}{\partial r} \Big|_{r=\sqrt{R^2-(z-R)^2}} e^{\frac{r-t}{\tau_r}} dr = G_n^{(i)}(z), \quad \int_0^t \frac{\partial \theta_n^{(i)}}{\partial z} \Big|_{z=R} e^{\frac{z-t}{\tau_r}} dz = \Lambda_n^{(i)}(r) \quad (8)$$

Застосовуємо до системи диференціальних рівнянь (6) з умовами (7)–(8) інтегральне перетворення Лапласа [7]. У результаті одержуємо систему диференціальних рівнянь

$$s \tilde{\theta}_n^{(i)} + g_n^{(i)} (\tilde{\theta}_n^{(m_i)} + \tau_r s \tilde{\theta}_n^{(m_i)}) + \tau_r s^2 \tilde{\theta}_n^{(i)} = a \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \tilde{\theta}_n^{(i)}}{\partial r} \right) - \frac{n^2}{r^2} \tilde{\theta}_n^{(i)} + \frac{\partial^2 \tilde{\theta}_n^{(i)}}{\partial z^2} \right] \quad (9)$$

з граничними умовами

$$\frac{\partial \tilde{\theta}_n^{(i)}}{\partial r} \Big|_{r=\sqrt{R^2-(z-R)^2}} = \tilde{G}_n^{(i)}(z), \quad \frac{\partial \tilde{\theta}_n^{(i)}}{\partial z} \Big|_{z=R} = \tilde{\Lambda}_n^{(i)}(r), \quad (10)$$

$$\text{де } \tilde{G}_n^{(i)}(z) = G_n^{(i)}(z) \left(1 + \frac{1}{s \tau_r} \right); \quad \tilde{\Lambda}_n^{(i)}(z) = \Lambda_n^{(i)}(z) \left(1 + \frac{1}{s \tau_r} \right).$$

Для розв'язання крайової задачі (9)-(10) застосовуємо інтегральне перетворення:

$$\bar{f}(\mu_{n,k}) = \iint_D Q(\mu_{n,k}, r, z) \cdot r \cdot f(r, z) d\sigma. \quad (11)$$

Власні функції $Q(\mu_{n,k}, r, z)$ і власні значення $\mu_{n,k}$ знаходяться із розв'язку спектральної задачі:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial Q}{\partial r} - \frac{n^2}{r^2} Q + \frac{\partial^2 Q}{\partial z^2} + \mu_{n,k} \cdot Q = 0 \quad (12)$$

$$\left. \frac{\partial Q}{\partial r} \right|_{r=\sqrt{R^2 - (z-R)^2}} = 0, \quad \left. \frac{\partial Q}{\partial z} \right|_{z=R} = 0. \quad (13)$$

Власні функції $Q(\mu_{n,k}, \rho, z)$ і власні значення $\mu_{n,k}$ в (12)- (13) знаходяться по формулам, які приведені в [8], а формула оберненого перетворення має вигляд:

$$f(\rho, z) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{Q(\mu_{n,k}, r, z)}{\|Q(\mu_{n,k}, r, z)\|^2} \bar{f}(\mu_{n,k}). \quad (14)$$

Застосовуємо до системи диференціальних рівнянь (9) інтегральне перетворення (11) в результаті одержуємо систему алгебраїчних рівнянь відносно $\bar{\theta}_n^{(i)}$:

$$s \bar{\theta}_n^{(i)} + g_n^{(i)} \left(\bar{\theta}_n^{(m_i)} + \tau_r s \bar{\theta}_n^{(m_i)} \right) + \tau_r s^2 \bar{\theta}_n^{(i)} = q_{n,k} \left(\frac{\tilde{\Omega}_{n,k}^{(i)}}{\mu_{n,k}^2} - \bar{\theta}_n^{(i)} \right) \quad (15)$$

$$\text{де } \tilde{\Omega}_{n,k}^{(i)} = R \int_0^h Q(\mu_{n,k}, \varsigma(z), z) \tilde{G}_n^{(i)}(z) dz + \oint_L r \left(Q(\mu_{n,k}, r, z) \frac{\partial \tilde{\theta}_n^{(i)}}{\partial z} - \tilde{\theta}_n^{(i)} \frac{\partial Q(\mu_{n,k}, r, z)}{\partial z} \right) dr;$$

$$q_{n,k} = a \mu_{n,k}^2.$$

Криволінійний інтеграл обчислюється по замкненому додатно орієнтованому контуру (рис.2):

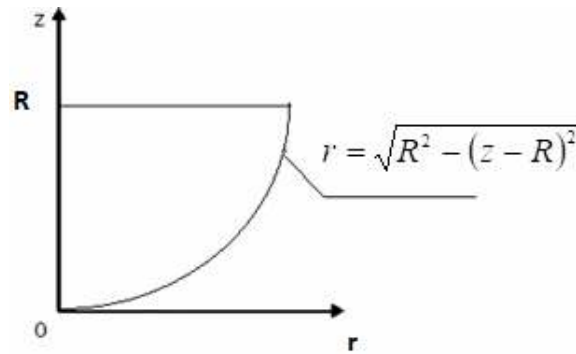


Рисунок 2 - Замкнутий контур із твірною лінією $r = \sqrt{R^2 - (z - R)^2}$

Розв'язавши систему рівнянь (15), одержуємо

$$\bar{\theta}_n^{(i)} = a \cdot \frac{\tilde{\Omega}_{n,k}^{(i)} (\tau_r s^2 + s + q_{n,k}) + (-1)^{i+1} \omega n \tilde{\Omega}_{n,k}^{(m_i)} (1 + s \tau_r)}{(\tau_r s^2 + s + q_{n,k})^2 + \omega^2 n^2 (1 + s \tau_r)^2}. \quad (16)$$

Застосовуючи до зображення функцій (16) формули оберненого перетворення Лапласа (7), одержуємо оригінали функцій:

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_n^{(1)}(\mu_{n,k}, t) = & \sum_{j=1}^2 \zeta_{n,k}(s_j) \left\{ \tilde{\Omega}_{n,k}^{(1)}(s_j) \left[(2\tau_r s_j + 1) + \tau_r \omega n i \right] + \tilde{\Omega}_{n,k}^{(2)}(s_j) \left[\tau_r \omega n - (2\tau_r s_j + 1) i \right] \right\} \\ & \left(e^{s_j t} - 1 \right) + \sum_{j=3}^4 \zeta_{n,k}(s_j) \left\{ \tilde{\Omega}_{n,k}^{(1)}(s_j) \cdot \left[(2\tau_r s_j + 1) - \tau_r \omega n i \right] + \tilde{\Omega}_{n,k}^{(2)}(s_j) \left[\tau_r \omega n + (2\tau_r s_j + 1) i \right] \right\} \\ & \cdot \left(e^{s_j t} - 1 \right), \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_n^{(2)}(\mu_{n,k}, t) = & \sum_{j=1}^2 \zeta_{n,k}(s_j) \left\{ \tilde{\Omega}_{n,k}^{(2)}(s_j) \left[(2\tau_r s_j + 1) + \tau_r \omega n i \right] - \tilde{\Omega}_{n,k}^{(1)}(s_j) \left[\tau_r \omega n - (2\tau_r s_j + 1) i \right] \right\} \\ & \left(e^{s_j t} - 1 \right) + \sum_{j=3}^4 \zeta_{n,k}(s_j) \left\{ \tilde{\Omega}_{n,k}^{(2)}(s_j) \left[(2\tau_r s_j + 1) - \tau_r \omega n i \right] - \tilde{\Omega}_{n,k}^{(1)}(s_j) \left[\tau_r \omega n + (2\tau_r s_j + 1) i \right] \right\} \\ & \left(e^{s_j t} - 1 \right), \end{aligned} \quad (18)$$

де $\zeta_{n,k}(s_j) = \frac{0.5 s_j^{-1} a}{(2\tau_r s_j + 1)^2 + (\tau_r \omega n)^2}$, а значення s_j для $j=1,2,3,4$ визначаються

за формулами

$$s_{1,2} = \frac{(\tau_r \omega n i - 1) \pm \sqrt{(1 + \tau_r \omega n i)^2 - 4\tau_r q_{n,k}}}{2\tau_r}, \quad s_{3,4} = \frac{(\tau_r \omega n i + 1) \pm \sqrt{(1 - \tau_r \omega n i)^2 - 4\tau_r q_{n,k}}}{2\tau_r}.$$

Таким чином з урахуванням формул обернених перетворень (5) і (14) одержує-

мо температурне поле тіла, що обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ, із урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла:

$$\theta(r, \varphi, z, t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \left[\bar{\theta}_n^{(1)}(\mu_{n,k}, t) + i \bar{\theta}_n^{(2)}(\mu_{n,k}, t) \right] \frac{Q(r, z, \mu_{n,k})}{\|Q(r, z, \mu_{n,k})\|^2} \right\} \exp(in\varphi)$$

де $\bar{\theta}_n^{(1)}(\mu_{n,k}, t)$, $\bar{\theta}_n^{(2)}(\mu_{n,k}, t)$ визначаються за формулами (17), (18).

Висновки. Вперше побудована математична модель розрахунку температурних полів для півсферичного тіла, яке наближено моделює роботу алмазного долота, з урахуванням кутової швидкості буріння та кінцевої швидкості поширення тепла у вигляді крайової задачі математичної фізики для гіперболічного рівняння теплопровідності з граничними умовами Неймана.

В роботі побудоване нове інтегральне перетворення для двовимірного кінцевого простору, із застосуванням якого знайдено температурне поле у вигляді збіжного ряду.

Знайдений розв'язок може знайти застосування для прогнозування можливої величини механічної швидкості алмазного буріння, сприяти правильному вибору технологічних параметрів, об'єктивного контролю їх в процесі буріння, дозволяє намітити шляхи вдосконалення роботи алмазного долота.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Александров В. А. Температурное поле и износ неоднородного алмазного круга при конвективном теплообмене / В.А.Александров, А.Н. Жуковский, В. А. Мечник // Трение и износ. – 1994. – Т. 15, – № 1. – С. 27 – 35.
2. Бондаренко Н.А. Температурное состояние алмазных буровых долот/ Н.А.Бондаренко, А.Н. Жуковский, В.А. Мечник // Доповіді НАН України. – 2006. – № 10. – С. 95 – 102.
3. Кожевников А.А. Математическая модель температурного режима алмазной коронки при бурении скважины / А.А. Кожевников, А.Ю. Дреус, И.И. Мартыненко, Ю.А. Бакаржиев // Матеріали міжнар. конф. “Форум гірників–2005”.– Дніпропетровськ: НДУ, 2005. – Т. 2. – С. 250–257.
4. Горшков Л.К. Температурные режимы алмазного бурения/Л.К. Горшков, В.Г. Гореликов. – М.: Недра, 1992. – 212 с.
5. Бердник М.Г. Математичне моделювання температурного поля в циліндрі, який обертається, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла / М.Г. Бердник // Питання прикладної математики і математичного моделювання.– Дніпропетровськ: ДНУ, 2005.–С. 37-44.

6. Маркович Б. М. Рівняння математичної фізики/Б. М. Маркович. - Львів: Львівська політехніка, 2010. – 384 с.
7. Лопушанська Г.П. Перетворення Фур'є, Лапласа: узагальнення та застосування/ Г.П. Лопушанська, А.О. Лопушанський, О.М. М'яус. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2014. –152 с.
8. Berdnyk M. The mathematic model and method for solving the dirichlet heat-exchange problem for empty isotropic rotary body / M. Berdnyk // Non-Traditional Technologies in the Mining Industry. Solid State Phenomena Vol. 277 – Trans Tech Publications, Switzerland– 2018 - pp 168-177.

REFERENCES

1. Aleksandrov V. A. Temperaturnoe pole i iznos neodnorodnogo almaznogo kruga pri konvektivnom teploobmene / V.A.Aleksandrov, A.N. Zhukovskij, V. A. Mechnik // Trenie i iznos. – 1994. – Т. 15, – № 1. – С. 27 – 35.
2. Bondarenko N.A. Temperaturnoe sostojanie almaznyh burovnyh dolot/ N.A.Bondarenko, A.N. Zhukovskij, V.A.Mechnik, // Dopovidi NAN Ukraïni. – 2006. – № 10. – С. 95 – 102.
3. Kozhevnikov A.A. Matematicheskaja model' temperaturnogo rezhima almaznoj koronki pri burenii skvazhiny / A.A. Kozhevnikov, A.Ju. Dreus, I.I. Martynenko, Ju.A. Bakarzhiev // Materiali mizhnar. konf. “Forum girnikiv–2005”.–Dnipropetrovs'k: NDU, 2005. – Т. 2. –С. 250–257.
4. Gorshkov L.K. Temperaturnye rezhimy almaznogo burenija/L.K. Gorshkov, V.G. Gorelikov. – М.: Nedra, 1992. – 212 s.
5. Berdnik M.G. Matematichne modeljuvannja temperaturnogo polja v cilindri, jakij obertaet'sja, z urahuvannjam kincevoj shvidkosti poshirennja tepla / M.G. Berdnik // Pitannja prikladnoï matematiki i matematichnogo modeljuvannja. – Dnipropetrovs'k: DNU, 2005. – С. 37-44.
6. Markovich B. M. Rivnjannja matematichnoï fiziki/B. M. Markovich. - L'viv: L'vivs'ka politehnika, 2010. – 384 с.
7. Lopushanska, G.P. Peretvorennja Furje, Laplasa: uzagalnennja ta zastosuvannja. Lviv.: LNU im. Ivana Franka, 2014. –152 s.
- 8.Berdnyk M. The mathematic model and method for solving the dirichlet heat-exchange problem for empty isotropic rotary body / M. Berdnyk // Non-Traditional Technologies in the Mining Industry. Solid State Phenomena Vol. 277 – Trans Tech Publications, Switzerland– 2018 - pp 168-177.

Received 05.05.2021.
Accepted 13.05.2021.

**Математическая модель и метод решения обобщенной задачи Неймана
теплообмена тела полусферической формы**

Построена математическая модель расчета температурных полей в вращающемся полусферическом теле, с учетом конечной скорости распространения тепла, в виде краевой задачи математической физики для гиперболического уравнения теплопроводности. Построенное интегральное преобразование для двумерного конечного пространства, с применением которого найдено температурное поле в виде сходящихся рядов по функциям Фурье.

Mathematical model and method for solving the generalized neumann problem of heat exchange of a hemispherical body

Currently, the issue of the distribution of temperature fields in the workpieces under the new method of heating, which is carried out by rotating the blanks in the magnetic field of a direct current, which is created in exciters with superconducting windings without knowledge of which it is impossible to implement its technical implementation with high technical and economic indicators, is not sufficiently studied. In this case, a small number of scientific works is devoted to the study of electromagnetic and thermal phenomena within the workpiece during its rotation in a magnetic field of direct current. Therefore, the task of developing mathematical methods for modeling the temperature fields in the workpieces with the induction heating of the metal with the use of innovative technology, the solution of which is dedicated to this work, is very relevant.

The purpose of the article is to construct a new generalized spatial mathematical model for calculating temperature fields in the workpieces in the form of a paraboloid of rotation, rotating with a constant angular velocity, taking into account the final rate of heat propagation in the form of the boundary value problem of mathematical physics, as well as finding solutions to the resulting boundary value problem.

For the first time, a mathematical model for calculating the temperature fields in a paraboloid of rotation has been constructed, taking into account the finite rate of propagation of the rotating heat in the form of a boundary value problem of mathematical physics for hyperbolic heat equations with boundary conditions of Neumann. An integral transformation for a two-dimensional finite space was constructed, with the use of which a temperature field was found in the form of convergent series in Fourier functions.

The solution of the generalized boundary value problem of heat exchange of the rotational paraboloid, which is rotated, taking into account the finiteness of the velocity of heat propagation, can be found in the modulation of temperature fields that arise during induction heating, which is carried out by rotating the blanks in a magnetic field of direct current created in the exciters with superconducting windings.

Бердник Михайло Геннадійович - кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, м.Дніпро, Україна.

Алексеев Олексій Михайлович - кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем.

Бердник Михаил Геннадьевич - кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный технический университет "Днепропетровская политехника", доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем, г.Днепр, Украина.

Алексеев Алексей Михайлович - кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Днепропетровская политехника", доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем.

Berdnyk Mykhailo Hennadiiovych - Candidate of Physics and Mathematics, assistant professor, National Technical University Dnipro Polytechnic, Senior Lecturer of computer software systems, Dnipro, Ukraine.

Aleksieiev Oleksii Mykhailovich - Candidate of Technical Sciences, assistant professor, National Technical University Dnipro Polytechnic, Senior Lecturer of computer software systems.

О.В. Гавриленко, Н.В. Новіченко

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАТОРІВ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ БУДІВЕЛЬ ЗА АРХІТЕКТУРНИМ СТИЛЕМ

Анотація. У статті розглянуто задачу класифікації зображень з тісними міжкласових взаємозв'язками – класифікація архітектурних стилів будівель, де велика кількість основних рис та ознак є спільною для декількох класів. Об'єктом дослідження є алгоритм навчання нейронної мережі для розпізнавання архітектурних стилів будівель. Запропоновано метод навчання нейронної мережі для класифікації архітектурних стилів будівель за зображеннями будівель, що за меншу кількість часу навчання досягає більшої. Запропонований алгоритм оптимізатору реалізовано програмно і проведено експерименти для порівняння ефективності алгоритму.

Ключові слова: машинне навчання, нейронні мережі, оптимізатори, класифікація зображень, архітектурні стилі.

Постановка проблеми. Задача класифікації архітектурного стилю будівель відрізняється від стандартних задач класифікації наявністю міжкласових взаємозв'язків між різними стилями, тобто велика кількість основних рис та ознак є спільною для декількох стилів. З збільшенням цифрових даних необхідність у їх обробці буде зростати, адже класифікація зображень використовується в багатьох галузях, таких як освіта, безпека, результати класифікації є основою для багатьох соціально-економічних та екологічних застосувань. Точність класифікації зображень може мати життєво важливе значення якщо використовується, наприклад, в медицині.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задача класифікації архітектурних стилів вже була розглянута раніше. Наприклад, у роботі «Visual pattern discovery for architecture image classification and product image search» [1] реалізовано алгоритм класифікації за 4 архітектурними стилями за допомогою виділення візуальних патернів шляхом створення просторових конфігурацій для того, що б мати можливість отримати точні результати при масштабуванні об'єкта, обертанні та деформації. Алгоритм, розроблений Z. Xu представлений у роботі «Architectural Style Classification using Multinomial Latent Logistic

Regression» [2] розроблявся з використанням якісної вибірки зображень будівель понад 20 архітектурних стилів. Вводячи поняття «ймовірність» в аналіз архітектурного стилю, автори аналізують взаємозв'язки архітектурних стилів імовірно. У роботі «Automatic architectural style recognition» представлена реалізація алгоритму NBNN для класифікації архітектурних стилів будівель [3]. Підхід для класифікації запропонований у роботі «Architectural Style Classification of Building Facade Windows» [4] полягає у виділенні текстур та форм в опис зображення.

Розглянуті роботи мають свої переваги, такі як простота реалізації, швидкість навчання, проте майже всі вони ефективні лише при малій кількості класів або ж для зображень будівель, що не мають багато деталей; інші ж вміють розрізняти лише ті будівлі, на яких є куполи, вежі або колони.

Мета дослідження. Об'єктом дослідження є процес навчання нейронної мережі - коригування ваг за допомогою ітераційного процесу, зміні значень параметрів мережі таким чином, щоб функція втрат була зведена до мінімуму. Щоб досягти мінімум функції існують алгоритми зміни ваг мережі - оптимізатори, такі як методи градієнтного спуску або Adam. Предметом дослідження є оптимізатори - алгоритми або методи, що використовуються під час навчання нейронної мережі для зміни її атрибутів, таких як ваги та швидкість навчання. Метою роботи є зменшення часу навчання нейронної мережі при збереженні точності навчання.

Викладення основного матеріалу дослідження. Задача класифікації зображення полягає у присвоєнні об'єкту (ситуації) деяким чином певний клас з існуючого переліку. Існує велика кількість методів вирішення поставленої задачі, кожен з яких має свої особливості і має різну ефективність залежно від особливостей задачі та вихідних даних. Найбільш популярними та ефективним методом вирішення задачі класифікації зображень є нейронні мережі, а саме CNN – це архітектура штучних нейронних мереж, що заснована на механізмах зорової кори ока, саме тому ця архітектура є найбільш ефективною для роботи з зображеннями. Такі нейронні мережі намагаються імітувати роботу мозку людини та процес його навчання. Так само, як мозок приймає вхідні дані, обробляє їх і генерує певний результат, так і працює нейронна мережа. Три дії - отримання вхідних даних, обробка інформації, генерування вихідних даних - представлені у вигляді шарів у нейронній мережі - вхідних, прихованих та вихідних [5].

Алгоритм CNN включає в себе 2 основних процеса: згортка та об'єднання. Повний навчальний процес нейронної мережі включає два етапи: пряме і зворотне поширення.

Пряме поширення. Зображення подаються на вхідний шар у вигляді матриці цифр. Ці числові значення позначають інтенсивність пікселів на зображенні. Нейрони в прихованих шарах застосовують кілька математичних операцій над цими значеннями з використанням певних значень параметрів - ваг, які випадковим чином ініціалізуються перед початком навчання і змінюються в процесі навчання. Результат надсилається на вихідний рівень, який генерує остаточний результат класифікації.

Зворотне поширення. Після отримання результату класифікації, наступним кроком є порівняння результату з фактичним значенням. Залежно від кінцевого результату та наскільки це близьке до фактичного значення (помилки), значення параметрів мережі оновлюються. Процес прямого розповсюдження повторюється з використанням оновлених значень параметрів і генеруються нові результати поки помилка не стане мінімальною [6].

Дано довільну вибірку зображень $X_{i,j}$, що розподілені за M класами. Необхідно мінімізувати значення функції втрат, що відповідає за загально похибку мережі при навчанні. Функція втрат показує, яка частина зображень при використанні мережі може бути класифікована невірно.

Дано:

$\{C\}$ – кількість класів, архітектурних стилів;

$\{c_i\}$ – множина класів, архітектурних стилів, де $i = \overline{1 \dots C}$;

$\{X_{i,j}\}$ – зображення будівлі, що відноситься до класу $c_{X_j} \in C$;

$\{N\}$ – кількість зображень;

$\{p_{model} [X_j \in c_{X_j}]\}$ – ймовірність, що зображення $X_{i,j}$ належить до класу c_{X_j} ;

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log p_{model} [X_j \in c_{X_j}] \rightarrow \min. \quad (1)$$

Обмеження:

$i, j, c_i, N \in \mathbb{N}$;

$2 < N, C < \alpha$;

$0 \leq L < \infty$;

На кожній ітерації необхідно змінити ваги нейронної мережі та швидкість навчання таким чином, щоб функція втрат (1) зменшилася. Нові значення ваг

та швидкості навчання визначають оптимізатори. Розглянемо деякі найбільш популярні з них.

Гرادієнтний спуск (GD) - це алгоритм оптимізації, який використовується при навчанні моделі машинного навчання для пошуку локального мінімуму диференційованої функції. Він базується на опуклій функції та ітеративно налаштовує її параметри, щоб мінімізувати дану функцію до її локального мінімуму. Простота обчислень та легкість реалізації роблять його популярним, проте він має суттєві недоліки: може зупинитися в локальному мінімуму; ваги змінюються після обчислення градієнта для всього набору даних, при великому набору даних знаходження мінімумів може зайняти роки; потребує багато пам'яті для обчислення градієнта для всього набору даних [7].

Деякі недоліки градієнтного спуску вирішує алгоритм SGD. Він є розширенням алгоритму градієнтного спуску, GD для обчислення похідної функції втрат одночасно завантажує весь набір даних з n точок. У алгоритмі SGD похідна обчислюється, приймаючи по одній точці за раз. Проте, час обчислення для 1 епохи більший за GD. Існує ще одна модифікація - SGD з імпульсом - вона має всі переваги алгоритму SGD та збігається швидше, ніж алгоритм GD. Проте, на кожному етапі потрібно обчислити ще одну змінну для кожного оновлення. Алгоритм SGD варто використовувати лише для неглибоких мереж [8].

Вище розглянуті алгоритми не впливали ніяк на швидкість навчання, тому розглянемо AdaGrad - алгоритм, що встановлює адаптивний рівень навчання для кожного з ваг. AdaGrad змінює загальну швидкість навчання на кожному часовому кроці для кожного параметра на основі минулих градієнтів. Головна перевага AdaGrad - не потрібно оновлювати швидкість навчання вручну, оскільки вона адаптивно змінюється з ітераціями. Основний недолік - накопичення квадратних градієнтів, накопичена сума постійно зростає під час навчання, внаслідок чого швидкість навчання зменшується; може виникати проблема зникаючого градієнта.

Проблему зменшення швидкості навчання вирішує AdaDelta - замість не-ефективного зберігання попередніх квадратних градієнтів, сума градієнтів рекурсивно визначається як середнє усіх минулих квадратних градієнтів. RMSprop алгоритм майже ідентичний AdaDelta, так як розробили їх майже одночасно для вирішення недоліків AdaGrad [9].

Найбільш популярний алгоритм Adam можна розглядати як поєднання RMSprop та SGD з імпульсом. Він має в собі переваги обох алгоритмів і має

найменшу «вартість» навчання. Проте, якщо градієнт певної ваги великий (або сильно змінюється), то алгоритм не настільки ефективний, як SGD. [10]

Розглянемо процес оновлення ваг нейронної мережі на кожній ітерації.

$$g_t = \text{grad}(L), \quad (2)$$

$$W^{[t]} = W^{[t-1]} - \alpha g_t. \quad (3)$$

На кожній ітерації необхідно обчислити градієнт функції втрат (2) що покаже напрямок напрямку найшвидшого зростання функції втрат і перерахувати ваги мережі W враховуючи швидкість навчання α (3).

Вибір швидкості навчання α є вирішальним – якщо встановити занадто низьку, то нейронна мережа буде вчитися дуже повільно, якщо встановити занадто високою, то можна не досягти мінімуму. Для визначення швидкості навчання необхідно провести велику кількість експериментів на даних, що будуть використовуватися для навчання мережі, що може зайняти роки, тому пропонується використовувати адаптивну швидкість навчання для кожної ітерації.

Змінюючи ваги за формулою (3) ми знайдемо локальний мінімум функції втрат, проте не маємо можливості контролювати зміни ваг – робити більші «кроки» коли градієнт не змінюється на велике значення, щоб пришвидшити навчання, або ж навпаки менші щоб не «перестрибнути» мінімум.

$$m^{[t]} = \beta_1 m^{[t-1]} + (1 - \beta_1) g_t, \quad (4)$$

$$v^{[t]} = \beta_2 v^{[t-1]} + (1 - \beta_2) g_t^2. \quad (5)$$

Для цього при обчисленні градієнту, обчислемо значення ковзне середнє градієнту (4) та його квадратів (5).

$$W^{[t]} = W^{[t-1]} - \alpha \frac{m^{[t]}}{\sqrt{v^{[t]}} + \epsilon}. \quad (6)$$

Змінюючи ваги мережі ми контролюємо «крок» домножаючи зміну на швидкість навчання α . Таким чином, при малій зміні градієнту $m^{[t]}$ приблизно дорівнює $\sqrt{v^{[t]}}$, отже зміна ваг повністю контролюється швидкістю навчання. При різкій зміні градієнту $m^{[t]}$ значно менше ніж $\sqrt{v^{[t]}}$, а значить швидкість навчання зменшується.

При навчанні нейронних мереж важливо мати малі значення W , це дозволить уникнути перенавчання та створити більш узагальнену модель [6]. Існуючі методи вирішують цю проблему додавши доданок $\mu W^{[t-1]}$ у формулу розрахунку градієнту (2), проте це впливає на значення $m^{[t]}$ та $v^{[t]}$ – вони будуть відслідковувати не лише зміну градієнту але також і регуляцію ваг мережі.

$$W^{[t]} = W^{[t-1]} - \alpha \frac{\beta_1 m^{[t-1]} + (1 - \beta_1) [(g)]_t + \mu W^{[t-1]}}{\sqrt{v^{[t]}} + \epsilon} \quad (7)$$

Для вирішення цієї проблеми додамо регуляцію ваг як наведено в (7). В цьому випадку зниження ваги також нормується значенням $\sqrt{v^{[t]}}$: при великих значеннях ваг W або великому значенню градієнта (різко змінюється) значення $v^{[t]}$ також буде мати велике значення, тому великих змін ваг відбуватися не буде. Аналогічно для малих значень.

Для тестування продуктивності розробленого алгоритму в якості контрольної задачі візьмемо задачу навчання нейронної мережі для класифікації зображень будівель за архітектурним стилем. У вибірку для навчання увійшло 1033 зображень розподілених за 6 архітектурними стилями, у тестову – 504 зображення.

Розроблений оптимізатор буде порівняно з оптимізаторами Adagrad та RMSprop на архітектурах ResNet та DenseNet. Експерименти були проведені при однакових умовах: апаратне та програмне забезпечення не змінювалось, інших операцій паралельно не проводилось.

Для порівняння використаємо наступні критерії: загальний час навчання та зміна значень функції втрат. На рисунку 1 зображена зміна функції втрат при навчанні. Запропонований алгоритм показав кращий результат на архітектурах ResNet та DenseNet ніж Adagrad та RMSprop. В середньому алгоритм показав в 1.5 рази меншу функцію втрат при завершенні навчання.

На рисунку 2 зображена кількість часу затрачена для навчання при 20 епохах. Навчання з використанням запропонованого алгоритму в середньому в 1.13 раз швидше, ніж з використанням інших алгоритмів.

Висновки. Аналіз існуючих алгоритмів та методів показав недоліки що є критичними для вирішення задачі класифікації зображень. Запропонований алгоритм вирішує частину недоліків існуючих методів: він не потребує велику кількість обчислень, так як сума градієнтів рекурсивно визначається як середнє усіх минулих квадратних градієнтів; швидкість навчання є адаптивною що дозволяє пришвидшити навчання коли градієнт функції не швидко змінюється; алгоритм можна використовувати для обчислення групи спостережень, що зменшить вимоги до пам'яті та кількості обчислень; алгоритм підходить для глибоких мереж; метод регулює значення ваг нейронної мережі, не дозволяючи їм значно збільшуватися, що робить обчислення ефективними як у SGD для

неглибоких мереж; метод враховує вимоги до значень ваг нейронної мережі – вони мають бути малими для уникнення перенавчання.

Запропонований метод навчання нейронної мережі для класифікації архітектурних стилів будівель за зображеннями будівель за меншу кількість часу навчання досягає більшої точності. В середньому запропонований алгоритм показав в 1.5 рази менше значення функції втрат при завершенні навчання та в 1.13 раз швидше, ніж з використанням інших алгоритмів.

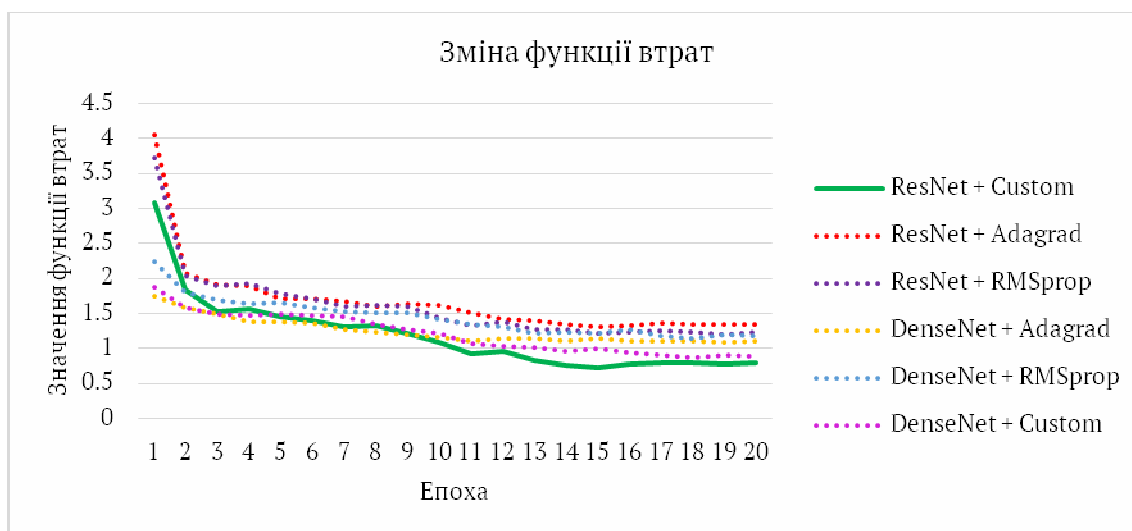


Рисунок 1 – Змінна значення функції втрат при навчанні мережі

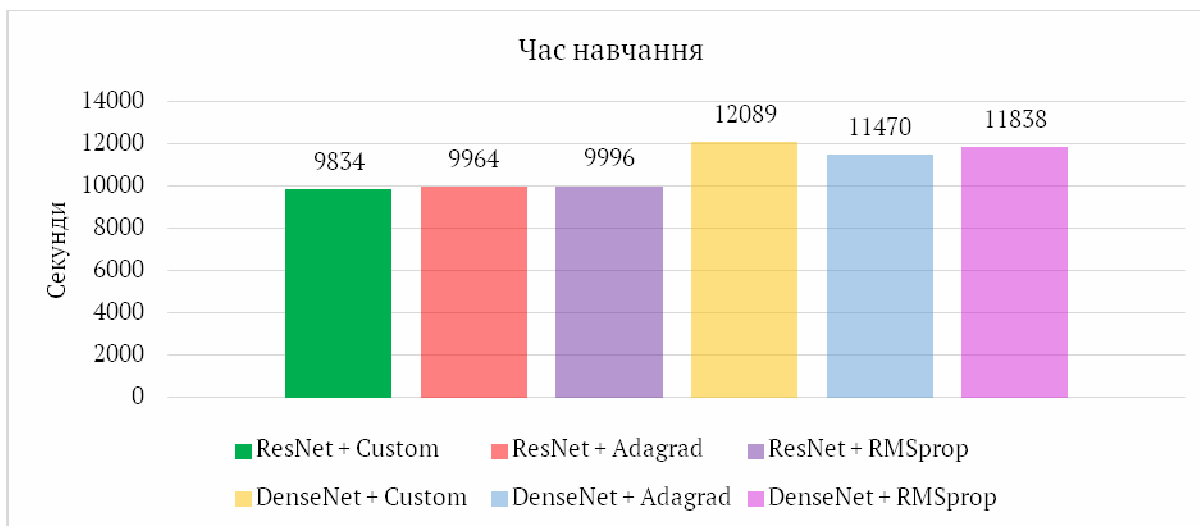


Рисунок 2 – Загальний час навчання мережі

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Chu W.T., Tsai M.H.: Visual pattern discovery for architecture image classification and product image search. In: Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Multimedia Retrieval, p. 27. ACM (2012).
2. Z. Xu, D. Tao, Y. Zhang, J. Wu, A. Tsoi, "Architectural Style Classification using Multinomial Latent Logistic Regression", European Conference on Computer Vision (ECCV2014), 2014.
3. M. Mathias (a), A. Martinovic (a), J. Weissenberg (b), S. Haegler (b), L. Van Gool (a, b) "AUTOMATIC ARCHITECTURAL STYLE RECOGNITION" (a) PSI/VISICS, Department of Electrical Engineering, KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 10/02441, 3001 Heverlee, Belgium - (markus.mathias, andelo.martinovic, luc.vangool)@esat.kuleuven.be (b) Computer Vision Laboratory, ETH Zurich, Sternwartstrasse 7, 8092 Zurich, Switzerland - (shaegler, julienw, vangool)@vision.ee.ethz.ch, 2011, Trento, Italy, 6 pages.
4. Gayane Shalunts, Yll Haxhimusa and Robert Sablatnig: «Architectural Style Classification of Building Facade Windows». –Vienna University of Technology, Institute of Computer Aided Automation Computer Vision Lab, Institute of Computer Graphics and Algorithms, Pattern Recognition and Image Processing Lab, 2011.
5. Shahar G. Neural Networks for Image Recognition: Methods, Best Practices, Applications [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://missinglink.ai/guides/computer-vision/neural-networks-image-recognition-methods-best-practices-applications/>.
6. Sorokina K. Image Classification with Convolutional Neural Networks [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://medium.com/@ksusorokina/image-classification-with-convolutional-neural-networks-496815db12a8>.
7. Sebastian Ruder. An overview of gradient descent optimization algorithms [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://ruder.io/optimizing-gradient-descent/>.
8. Vitaly Bushaev. Stochastic Gradient Descent with momentum [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://towardsdatascience.com/stochastic-gradient-descent-with-momentum-a84097641a5d>.
9. Helton Maia Peixoto, Rafael Magalhães. Artificial Neural Networks and Efficient Optimization Techniques for Applications in Engineering / Helton Maia Peixoto, Rafael Magalhães – 2011.

10. Ke Li, Jitendra Malik. Learning to Optimize Neural Nets – 2017.

REFERENCES

1. Chu W.T., Tsai M.H.: Visual pattern discovery for architecture image classification and product image search. In: Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Multimedia Retrieval, p. 27. ACM (2012).
2. Z. Xu, D. Tao, Y. Zhang, J. Wu, A. Tsoi, "Architectural Style Classification using Multinomial Latent Logistic Regression", European Conference on Computer Vision (ECCV2014), 2014.
3. M. Mathias (a), A. Martinovic (a), J. Weissenberg (b), S. Haegler (b), L. Van Gool (a, b) "AUTOMATIC ARCHITECTURAL STYLE RECOGNITION" (a) PSI/VISICS, Department of Electrical Engineering, KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 10/02441, 3001 Heverlee, Belgium - (markus.mathias, andelo.martinovic, luc.vangool)@esat.kuleuven.be (b) Computer Vision Laboratory, ETH Zurich, Sternwartstrasse 7, 8092 Zurich, Switzerland - (shaegler, julienw, vangool)@vision.ee.ethz.ch, 2011, Trento, Italy, 6 pages.
4. Gayane Shalunts , Yll Haxhimusa , and Robert Sablatnig: «Architectural Style Classification of Building Facade Windows». – Vienna University of Technology, Institute of Computer Aided Automation Computer Vision Lab, Institute of Computer Graphics and Algorithms, Pattern Recognition and Image Processing Lab, 2011.
5. Shahar G. Neural Networks for Image Recognition: Methods, Best Practices, Applications [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupa k state: <https://missinglink.ai/guides/computer-vision/neural-networks-image-recognition-methods-best-practices-applications/>.
6. Sorokina K. Image Classification with Convolutional Neural Networks [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupa k state: <https://medium.com/@ksusorokina/image-classification-with-convolutional-neural-networks-496815db12a8>.
7. Sebastian Ruder. An overview of gradient descent optimization algorithms [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupa k state: <https://ruder.io/optimizing-gradient-descent/>.
8. Vitaly Bushaev. Stochastic Gradient Descent with momentum [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupa k state: <https://towardsdatascience.com/stochastic-gradient-descent-with-momentum-a84097641a5d>.
9. Helton Maia Peixoto, Rafael Magalhães. Artificial Neural Networks and Efficient Optimization Techniques for Applications in Engineering / Helton Maia Peixoto, Rafael Magalhães – 2011.

***Исследование оптимизаторов нейронной сети для классификации изображений
зданий по архитектурному стилю***

В статье рассмотрена задача классификации изображений с тесными межклассовыми взаимосвязями - классификация архитектурных стилей зданий, где большое количество основных черт и признаков является общими для нескольких классов. Объектом исследования является алгоритм обучения нейронной сети. Предложен метод обучения нейронной сети для классификации архитектурных стилей зданий по изображениям, который за меньшее количество времени обучения достигает большей точности. Предложенный алгоритм оптимизатора реализовано программно и проведено эксперименты для сравнения эффективности алгоритма.

Neural network optimizers for buildings architectural style classification task

The article considers the problem of classification of images with close interclass relationships - the classification of architectural styles of buildings, where a large number of basic features and characteristics are common to several classes. The object of the research is a neural network learning algorithm for recognizing architectural styles of buildings. A proposed method of neural network training achieves higher accuracy. The proposed optimizer algorithm was implemented and tested to compare the efficiency of the algorithm.

Analysis of existing algorithms and methods has shown shortcomings that are critical to solving the problem of image classification. The advanced algorithm solves some of the shortcomings of existing methods: it does not require a large number of calculations, as the sum of gradients is recursively defined as the average of all past square gradients; the learning speed is adaptive which allows to accelerate learning when the gradient of the function does not change quickly; the algorithm can be used to calculate a group of observations, which will reduce the requirements for memory and the number of calculations; the algorithm is suitable for deep networks; the method regulates the values of the weights of the neural network, not allowing them to increase significantly, which makes the calculations as effective as in SGD for shallow networks; the method takes into account the requirements for the values of the weights of the neural network - they must be small to avoid retraining.

The proposed method of learning the neural network for the classification of architectural styles of buildings achieves greater accuracy in less learning time. On average, the algorithm showed 1.5 times less value of the loss function at the end of training and 1.13 times faster than using other algorithms.

Гавриленко Олена Валеріївна – доцент кафедри інформатики та програмної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

Новіченко Неля Валеріївна – студентка кафедри інформатики та програмної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

Гавриленко Елена Валерьевна - доцент кафедры информатики и программной инженерии Национального технического университета Украины «Киевский политех-ночной институт им. И. Сикорского ».

Новиченко Неля Валерьевна - студентка кафедры информатики и программной инженерии Национального технического университета Украины «Киевский политех-ночной институт им. И. Сикорского ».

Gavrylenko Olena – Associate Professor of the Department of Informatics and Software Engineering of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

Novichenko Nelia – student of the Department of Informatics and Software Engineering of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

Я.С. Чернецький, Т.А. Ліхоузова

ДОДАТОК ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ПЛАНУ БУДІВЛІ ЗГІДНО НОРМ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Анотація. Запропоновано систему для автоматизації перевірки споруд на пожежну безпеку на основі проектної документації. Головним недоліком усіх існуючих програм є їхня ціна, яка в силу невисокої конкуренції на ринку є досить великою для пересічної людини. Дана розробка є open-source програмою, отже кожен охочий зможе скористатися її функціоналом. На завантаженому або створеному безпосередньо в програмі плані будинку програма виявляє та виділяє проблемні місця та надає пояснення щодо пункту правил та причин його невідповідності. В результаті роботи програми користувач може отримати звіт за результатами аналізу та 2D модель будинку, яку потім можна буде використовувати в інших програмах. Програмний додаток може використовуватись як на етапі проектування будівлі, так і на етапі прийняття в експлуатацію.

Ключові слова: пожежна безпека, системи проєктування, аналіз зображень.

Вступ. Кожного дня в Україні стається десятки, а то й сотні пожеж в житлових та нежитлових приміщеннях. Кожна з них в тій чи іншій мірі завдає шкоди самій будівлі, несе матеріальні збитки, а також створює загрозу людському життю. Часто наслідки пожежі посилюються через недотриманням норм пожежної безпеки, яких можна було б уникнути, виконавши кілька простих вимог. Пожежа може виникнути в силу великої кількості різноманітних обставин, які неможливо передбачити, проте можна підготувати засоби для боротьби з нею.

Мета роботи — підвищення пожежної безпеки на етапі проєктування будівель. Запропонований програмний додаток покликаний допомогти відповідальним за пожежну безпеку особам перевірити основні параметри будівлі та їх відповідність нормам пожежної безпеки.

Аналіз існуючих рішень. Пожежна безпека на будь якому підприємстві є невід’ємною частиною робочого процесу. В Україні ця сфера регламентується Правилами пожежної безпеки в Україні, які затверджуються наказом Міністерства внутрішніх справ України, зі змінами, які періодично вносяться

відповідними наказами [1, 2]. Виконання зафіксованих на законодавчому рівні вимог пожежної безпеки є обов'язковим для усіх суб'єктів, що ведуть свою господарську діяльність на території України, незалежно від форм власності, сфери роботи, кількості співробітників та інших аспектів.

Пожежна безпека - це сукупність практик, призначених для зменшення руйнувань, спричинених пожежею. До заходів протипожежної безпеки належать ті, які заплановані під час будівництва будівлі або впроваджені в конструкціях, що вже стоять, та робота з мешканцями та відвідувачами будівлі. Пожежна безпека об'єкта мусить забезпечуватися наступними системами:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Зважаючи на те, що пожежна безпека є дуже важливою частиною функціонування будь-якого об'єкта інфраструктури, було розроблено багато різноманітних додатків, які допомагають людям проектувати, перевіряти будівлі щодо пожежної безпеки, а також симулювати надзвичайні ситуації. Таким чином усі подібні програми можна розділити на декілька груп за функціональним призначенням:

- симуляція пожежі;
- програми для створення плану будівлі;
- для архітекторів.

В результаті аналізу [3-6] було отримано порівняльну таблицю існуючих програм даної сфери (табл. 1).

Головним недоліком усіх програм є їхня ціна, яка в силу невисокої конкуренції на ринку є досить великою для пересічної людини. Повністю безкоштовним є лише FDS, проте це тільки ядро для обчислень, яке не може самостійно функціонувати, а потребуватиме взаємодії з платними модулями.

Порівняння існуючих рішень

Функціональні можливості	Програмні рішення						
	Запропонований додаток	PYROSIM	PATHFINDER	EVAAPP	EDRAW	AUTOCAD	CEDREO
Побудова плану будівлі	+	+	+	+	+	+	+
Можливість симуляції пожежі	-	+	+	-	-	-	-
Розрахунок часу евакуації	-	-	+	+	-	-	-
Експорт та імпорт в DXF	+	+	+	-	-	+	+
Аналіз відповідності пожежним нормам	+	-	-	-	-	-	-
Генерація звіту	+	+	+	+	+	-	-
Безкоштовна версія	+	-	-	-	-	-	-
Українська локалізація	+	-	-	+	-	+	-

Запропоноване рішення. Виходячи з вимог, що висувались до розроблюваної системи, було прийнято рішення про розробку кроссплатформного додатку, що зніме обмеження на вибір цільової платформи і збільшить кількість потенційних користувачів.

Розроблений додаток отримує вхідні дані від користувача, аналізує дані та генерує їх візуальне представлення. Після проведення аналізу даних створюється звіт з результатами перевірки. Оскільки додаток може використовуватись як незалежно, так і в якості підсистеми, було вирішено вибрати формати даних, які використовуються в інших додатках даної сфери [7], що дозволить в майбутньому експортувати та імпортувати дані між додатками. Це формати DWG, DXF та TXT, із використанням структури запису даних подібної до тої, яка використовується в DXF. Для формування звіту обрано файловий формат PDF.

Для реалізації очікуваного функціоналу було проаналізовано кілька технологій, обґрунтовано використання технології Drag&Drop та методу створення PDF-файлів з використанням C++ та Qt [8].

Дані з нормативних актів, які будуть використовуватися як еталон для перевірки відповідності плану будівлі пожежним нормам, зберігаються у нереляційній базі даних. Це пов'язано з тим, що вони не мають чіткої структури і використання реляційної бази буде складним та недоцільним у цьому випадку. Для зберігання даних про будинки обрано реляційну базу даних, адже такі дані буде зручно подати у вигляді взаємопов'язаних таблиць. При виборі СУБД вибір зупинився на MongoDB та MySQL, як одних з лідерів ринку.

Багатошарова архітектура ідеально підходить для програм Qt [9]. Ця архітектура забезпечує чіткий розподіл відповідальності та сприяє гарному дизайну компонентів. Програму умовно можна розділити на декілька модулів, кожен з яких відповідатиме за виконання певного функціоналу і обміну даними між модулями.

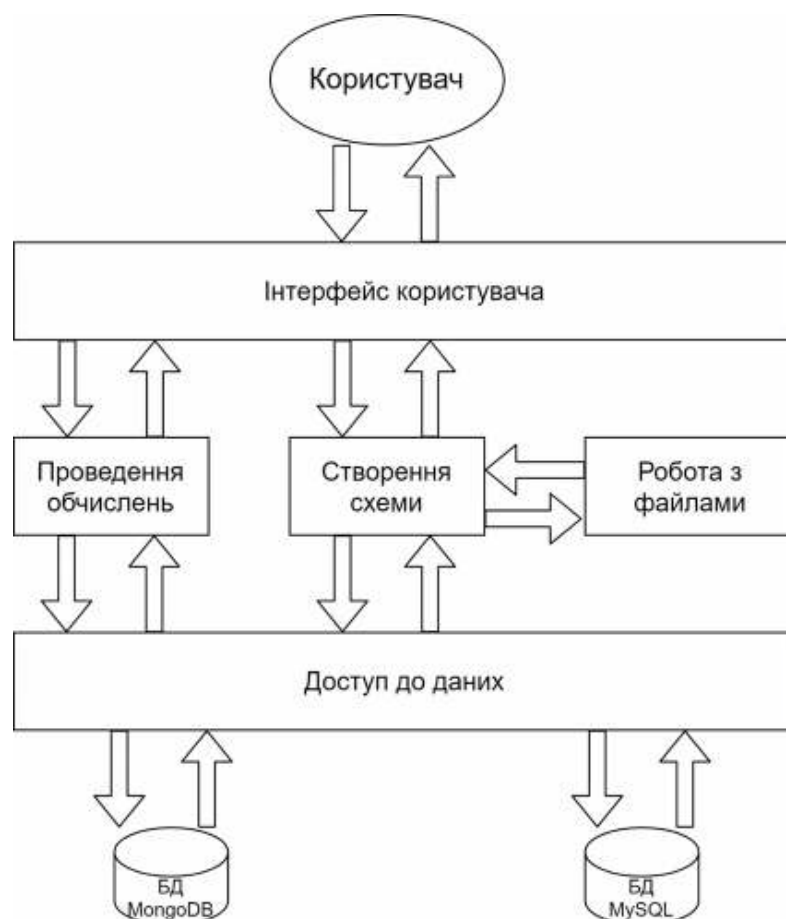


Рисунок 1 – Взаємодія програмних модулів підсистеми

Так даний програмний продукт містить наступні незалежні модулі:

- модуль роботи з базою даних MongoDB;
- модуль роботи з базою даних MySQL;
- модуль для роботи з файлами;
- модуль для створення плану будівлі;
- модуль обчислень;
- модуль графічного інтерфейсу.

Їхню взаємодію показано схематично на рис. 1.

Інтерфейсом розробленої програми являється програмне вікно цільової операційної системи. Дана програма складається з двох вікон, одне з яких головне, а друге відкривається натисканням на головному вікні кнопки «Створити схему». На допоміжному вікні присутні канва для малювання схеми і панель з доступними елементами, які можна переміщувати на схему. Також наявні поля для вводу розмірів і ручного позиціонування елементів плану будівлі.

На головному вікні програми містяться кнопки управління, текстове поле для відображення результатів аналізу, та поле для відображення план-схеми, що аналізується.

Користувачу доступний наступний перелік кнопок:

- завантажити з файлу;
- зберегти в файл;
- аналізувати;
- генерувати звіт;
- створити схему.

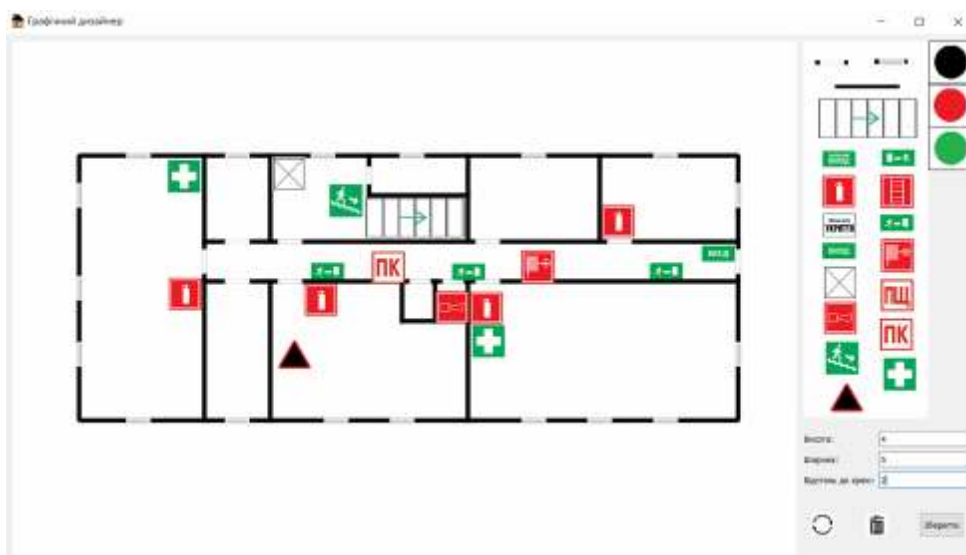


Рисунок 2 – Вікно графічного дизайнера програми



Програма оформлена як установчий пакет з інсталяційним інтерфейсом, що дозволить вільно поширювати її серед інших користувачів, а також у випадку необхідності передбачена можливість видалити програму через стандартну панель керування операційної системи або за допомогою інсталяційного файлу.

Розроблена підсистема розрахована на широке коло користувачів завдяки своїй простоті та зручному інтерфейсу. Правильний розподіл на класи дозволить у майбутньому вдосконалювати програму.

Висновки. Запропонований програмний додаток має перспективи для використання серед різноманітних груп населення, починаючи від власників приватних будинків, які хочуть перевірити його безпеку на випадок надзвичайної ситуації, і закінчуючи архітекторами та працівниками ДСНС, які проводитимуть моніторинг стану житлових та нежитлових об'єктів з можливістю зручного контролю та веденням статистики.

1. Пожежна небезпека в будівлях: огляд, оцінка та стратегії покращення пожежної безпеки [Електронний ресурс] – 2020.

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

2. Пожежна безпека на підприємстві: правила та організація [Електронний ресурс] – 2018. <https://profiteh.ua/pozhezhna-bezpeka-na-pidpriemstvi-pravyla-ta-orhanizatsiia/>
3. Fire safety 1: Understanding fire, fire precautions and prevention [Електронний ресурс] – 2017. <https://www.pcs.org.uk/your-union/activists-resources/organising-your-workplace/health-and-safety/hazards-and-health-a-to-z>
4. Fire Dynamics and Smoke Control [Електронний ресурс] – 2021. https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/?gclid=CjwKCAjw-e2EBhAhEiwAJI5jg5d6yeXxPsNc6D6kz1yF7T6ng3wB46VTByFcXujWR0mrhpjF0nbrixoCyOMQAvD_BwE
5. Eva-App - розрахунок часу евакуації [Електронний ресурс] – 2021. <https://eva-app.biz/static/lending#components>
6. AutoCAD Software [Електронний ресурс] – 2021. <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR>
7. DXF Reference - Autodesk Help [Електронний ресурс] – 2012. <http://help.autodesk.com/cloudhelp/2018/ENU/AutoCAD-DXF/files/index.htm>
8. Creating PDF/A documents with Qt [Електронний ресурс] – 2017. <https://www.kdab.com/creating-pdf-a-documents-qt/>
9. What is a multi layered software architecture? [Електронний ресурс] – 2018. <https://hub.packtpub.com/what-is-multi-layered-software-architecture/>

REFERENCES

1. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies to improve fire safety [Electronic resource] – 2020. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/PRR-12-2018-0033/full/html>
2. Fire safety at the enterprise: rules and organization [Electronic resource] – 2018. <https://profiteh.ua/pozhezhna-bezpeka-na-pidpriemstvi-pravyla-ta-orhanizatsiia/>
3. Fire safety 1: Understanding fire, fire precautions and prevention [Electronic resource] – 2017. <https://www.pcs.org.uk/your-union/activists-resources/organising-your-workplace/health-and-safety/hazards-and-health-a-to-z>
4. Fire Dynamics and Smoke Control [Electronic resource] – 2021. https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/?gclid=CjwKCAjw-e2EBhAhEiwAJI5jg5d6yeXxPsNc6D6kz1yF7T6ng3wB46VTByFcXujWR0mrhpjF0nbrixoCyOMQAvD_BwE
5. Eva-App - calculation of evacuation time [Electronic resource] – 2021. <https://eva-app.biz/static/lending#components>
6. AutoCAD Software [Electronic resource] – 2021.

<https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR>

7. DXF Reference - Autodesk Help [Electronic resource] – 2012.

<http://help.autodesk.com/cloudhelp/2018/ENU/AutoCAD-DXF/files/index.htm>

8. Creating PDF/A documents with Qt [Electronic resource] – 2017.

<https://www.kdab.com/creating-pdf-a-documents-qt/>

9. What is a multi layered software architecture? [Electronic resource] – 2018.

<https://hub.packtpub.com/what-is-multi-layered-software-architecture/>

Received 11.05.2021.

Accepted 14.05.2021.

Проектирование и анализ плана строения согласно нормам пожарной безопасности

Предложена система для автоматизации проверки сооружений на пожарную безопасность на основе проектной документации. Главным недостатком всех существующих программ является их цена, которая в силу невысокой конкуренции на рынке достаточно большая для обычного человека. Данная разработка является open-source программой, так что каждый желающий сможет воспользоваться ее функционалом. На загруженном или созданном непосредственно в программе плане дома программа обнаруживает и выделяет проблемные места и предоставляет объяснение пункта правил и причин его несоответствия. В результате работы программы пользователь может получить отчет по результатам анализа и 2D модель дома, которую потом можно будет использовать в других программах. Программное приложение может использоваться как на этапе проектирования здания, так и на этапе принятия в эксплуатацию.

Design and analysis of the building plan according to fire safety standards

Hundreds of fires occur in residential and non-residential premises in Ukraine every day. Each of them to one degree or another damages the building itself, causes material damage, and poses a threat to human life. The consequences of a fire are often exacerbated by non-compliance with fire safety regulations, which could be avoided by following a few simple requirements. A fire can occur due to a large number of different circumstances that are impossible to predict, but you can prepare means to combat it.

The purpose of the work is to increase fire safety at the design stage of buildings. The proposed software application is designed to help those responsible for fire safety to check the basic parameters of the building and their compliance with fire safety standards on the basis of project documentation.

Because fire safety is a very important part of any infrastructure, many different applications have been developed to help people design, inspect buildings for fire safety, and simulate emergencies. all such programs can be divided into several groups by functional purpose: fire simulation; programs for creating a building plan; programs for architects. The main disadvantage of all existing programs is their price, which due to low competition in the market is quite high for the average person. Only FDS is completely free, but it is only a computing core that cannot function on its own, but will need to interact with paid modules.

The proposed development is an open-source program, so everyone will be able to use its functionality. On the plan of the house loaded or created directly in the program, the program identifies and identifies problem areas and provides explanations on the point of the rules and the reasons for its inconsistency. As a result of the program, the user can receive a report on the results of the analysis and a 2D model of the house, which can then be used in other programs.

The software application can be used both at the design stage of the building and at the commissioning stage.

Ліхоузова Тетяна Анатоліївна – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Чернецький Ярослав Сергійович – студент кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Лихоузова Татьяна Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры технической кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Чернецкий Ярослав Сергеевич – студент кафедры технической кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Likhouzova Tetiana – PhD, associate professor, Department of Technical Cybernetics National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

Chernetskyi Yaroslav – student of the Department of Technical Cybernetics National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПНЕВМОНІЇ ПО РЕНТГЕНІВСЬКИМ ЗНІМКАМ

Анотація. У роботі спроектовано та розроблено додаток для виявлення пневмонії по рентгенівським знімкам із застосуванням нейромережних технологій на мові Python. Для реалізації програми для розпізнавання пневмонії по рентгенівським знімкам, яке відноситься до задачі розпізнавання образів, буде застосована архітектура згорткових штучних нейронних мереж.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, пневмонія, розпізнавання образів, датасет.

Актуальність теми. Розробка штучних нейронних мереж почалася ще на початку XX століття, але більш широке поширення нейронні мережі отримали тільки в 90-х роках зі збільшенням потужності обчислювальних систем. З початково метою спроб створення нейронних мереж було розуміння принципів роботи людського мозку. На сьогоднішній нейронна мережа являє собою якусь спрощену модель людського мозку і успішно використовується при вирішенні найрізноманітніших завдань.

Напрямок медицини і охорони здоров'я вже сьогодні вважається одним із стратегічних і перспективних з точки зору ефективного впровадження нейромережових технологій. Їх використання може масово підвищити точність діагностики, полегшити життя пацієнтам з різними захворюваннями, підвищити швидкість розробки і випуску нових ліків і т.д.

Основною метою є розробка програми для виявлення пневмонії по рентгенівським знімкам з застосуванням нейромережових технологій.

У всьому світі більш ніж 450 мільйонів осіб заражаються пневмонією на рік і більш ніж 4 мільйони людей вмирають від цієї хвороби. Чисельна різниця між показниками зараження і показниками смертності показує, наскільки важливий ранній діагноз цієї хвороби.

Сьогодні одним з основних методів для діагностики захворювання є рентгенографія грудної клітки. При вивченні рентгенівського знімка органів грудної клітини звертають увагу на структуру кісток і м'яких тканин грудної

клітки, форму і прозорість областей легеневих тканин, а також їх структуру, сформовану тінями судин легенів, розташування і структуру коренів легких, становище, форму куполів діафрагми і синусів плевральних порожнин.

Під час діагностики фахівці-радіологи співвідносять білі плями на зображенні, що ідентифікують інфекцію, і білі області, в яких зібралася рідина внаслідок пневмонії.

Однак, через обмеженість колірної схеми рентгенівських зображень, що складаються тільки з відтінків чорного і білого, виникають труднощі, коли справа доходить до визначення є на знімку пневмонія чи ні. Завжди є ймовірність помилкового діагнозу. Якщо діагноз псевдопозитивний, то лікування може тільки нашкодити, якщо - псевдонегативну, то без лікування пневмонія може привести до смерті. В обох випадках неправильно поставлений діагноз може негативно впливати на організм людини.

Досвідчені радіологи не завжди можуть поставити правильний діагноз. А в багатьох країнах, що розвиваються навіть не вистачає кваліфікованих фахівців для своєчасного діагностування пневмонії.

Отже, обчислювальні методи для діагностики захворювання є найбільш надійними, оскільки виключають людський фактор і можуть з більшою точністю визначати вірний діагноз.

Для реалізації програмної частини була обрана бібліотека Keras [1], так як її функціоналу досить для побудови штучної нейронної мережі.

Набір даних для навчання нейронної мережі було взято з сайту Kaggle [2]. Він містить 5863 рентгенівських знімків у форматі JPEG. Фронтальні рентгенівські знімки грудної клітини були взяті у пацієнтів у віці від 1 до 5 років з медичного центру в Гуанчжоу.

Набір даних складається з 3 папок (train, test, val) для тренування, тестування і перевірки нейронної мережі. В одній папці з 2 папки Pneumonia і Normal, в яких розташовуються рентгенівські знімки з пневмонією і без. На рисунку 1 проілюстрований приклад зображень з набору даних.

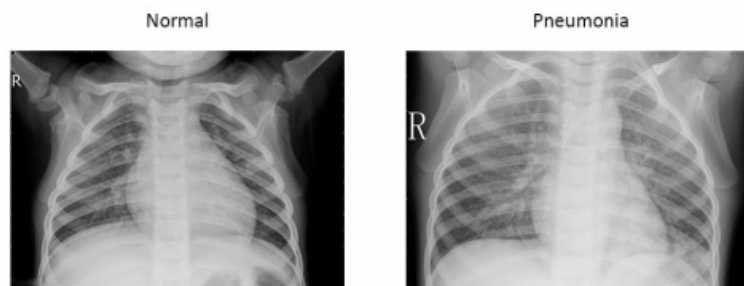


Рисунок 1 - Приклад зображень з набору даних

Для досягнення кращого результату роботи мережі датасет був збалансований. Таким чином, збалансований набір даних містить 3166 рентгенівських знімків, порівну для кожного класу. Для навчання використовувалося 80% від вибірки, для перевірки нейронної мережі - 10%, і стільки ж для тестування.

Для реалізації програми для розпізнавання пневмонії по рентгенівським знімкам, яке відноситься до задачі розпізнавання образів, буде застосована архітектура згорткових штучних нейронних мереж [3], структура якої представлена на рисунку 2.

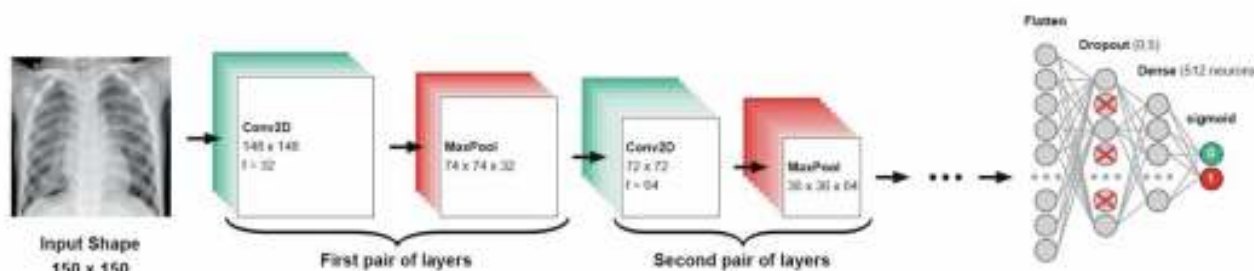


Рисунок 2 – Топологія нейронної мережі

Мережа складається з 4 пар чергуються згортальних шарів і шарів підвибірки, а також з 1 шару проріджування і 2 повнозв'язних слоїв. Дана топологія була обрана через найбільшу точності мережі, яку було виявлено експериментальним шляхом.

В ході експериментів було навчено 10 моделей з різною архітектурою і параметрами. У таблиці 1 представлені результати проведених експериментів. Кращий результат роботи показали моделі з оптимізатором `rmsprop` і `adam`. Нижче детально описана архітектура нейронної мережі, яка показала найбільшу точність в результаті експериментів.

Згорткова нейронна мережа організована як стек чергуються шарів Conv2D (з функцією активації `relu`) і MaxPooling2D. Мережа приймає на вхід зображення розміром 150x150 пікселів.

Так як класифікація бінарна, мережа закінчується єдиним ознакою (шар Dense з розміром 1 і функцією активації `sigmoid`). Цей ознака буде являти собою приналежність розглянутого зображення одного з двох класів (пневмонія, відсутність пневмонії).

Також в модель нейронної мережі було додано шар Dropout з параметром 0,5 безпосередньо перед повнозв'язну класифікатором. Дана модель використовує оптимізатор `rmsprop`.

Результати експериментів

№	Кількість пар шарів згортки і підвибірки	Епохи	Параметр для шару проріджування	Оптимізатор	Точність
1	4	15	0,5	rmsprop	70,25 %
2	4	15	0,4	rmsprop	86,08 %
3	4	20	0,5	rmsprop	89,24 %
4	4	27	0,5	rmsprop	80,38 %
5	5	20	0,4	adam	76,58 %
6	3	20	0,3	adam	50,95 %
7	4	22	0,5	adam	83,86 %
8	3	15	0,3	SDG	50,95 %
9	4	15	0,5	SDG	67,40 %
10	4	25	0,5	SDG	54,40 %

У лістингу 1 представлена реалізація згорткової нейронної мережі.

Лістинг 1. Реалізація нейронної мережі

```

model = models.Sequential()
model.add(layers.Conv2D(32, (3, 3), activation='relu',
input_shape=(150,
150, 3))) #слой свертки
model.add(layers.MaxPooling2D((2, 2))) #слой подвыборки
model.add(layers.Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'))
model.add(layers.MaxPooling2D((2, 2)))
model.add(layers.Conv2D(128, (3, 3), activation='relu'))
model.add(layers.MaxPooling2D((2, 2)))
model.add(layers.Conv2D(128, (3, 3), activation='relu'))
model.add(layers.MaxPooling2D((2, 2)))
model.add(layers.Flatten()) #преобразования из двумерного вида
в плоский
model.add(layers.Dropout(0.5)) #слой прореживания
model.add(layers.Dense(512, activation='relu')) #полносвязан-
ный слой
model.add(layers.Dense(1, activation='sigmoid')) #выходной
model.compile(loss='binary_crossentropy', optimizer='rmsprop',
metrics=['acc'])

```

Для запобігання перенавчання використовується прийом розширення даних. Створюються додаткові навчальні дані з наявних шляхом трансформації зразків безліччю випадкових перетворень.

Мета полягає в тому, щоб на етапі навчання модель ніколи не побачила одне і те ж зображення двічі. Це допоможе моделі виявити більше особливостей даних.

Застосовувані трансформації для тренувальних даних представлені в лістингу 2.

Лістинг 2. Застосовувана до зображень трансформація

```
train_datagen = ImageDataGenerator(rescale=1./255,  
rotation_range=10,  
width_shift_range=0.1, height_shift_range=0.1,  
shear_range=0.1,  
zoom_range=0.2)
```

Застосовувані трансформації до вихідних даних.

1. Випадковий поворот зображення (rotation_range).
2. Зміщення зображення по вертикалі і горизонталі (width_shift, height_shift).
3. Зміщена перетворення (shear_range).
4. Зміна масштабу зображення (zoom_range).

Навчання моделі проводилося на комп'ютері, що має такі характеристики:

- 1) відеокарта NVIDIA GeForce 940M;
- 2) процесор Intel (R) Core (TM) i5-6200 CPU @ 2,30 GHz 2,40 GHz);
- 3) 6 ГБ оперативної пам'яті;
- 4) ОС Windows 10.

Для навчання та перевірки точності мережі був використаний набір даних з рентгенівськими знімками легких, скачаний з офіційного сайту Kaggle [3]. Тривалість навчання становила 15 епох, по 100 ітерацій кожна. В середньому на одну епоху витрачалося 1,5 хвилини. Сумарне навчання зайняло близько 25 хвилин. Навчена згортова нейронна мережа була збережена.

Висновки. В рамках роботи була створена і навчена згортова нейронна мережа для класифікації рентгенівських знімків, а також було реалізовано додаток для розпізнавання пневмонії по рентгенівським знімкам на основі нейромережевих технологій.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Шолле Франсуа. Глубокое обучение на Python.- СПб.: Питер, 2018. - 400 с.: ил.
2. Офіційний сайт Бібліотеки TensorFlow мови Python [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <https://www.tensorflow.org/>
3. Англomовний сайт Kaggle [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <https://www.kaggle.com/>

4. Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети: учебник / В.С.Ростовцев. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216с.

REFERENCES

1. Sholle Fransua. Hlubokoe obuchenye na Python.- SPb.: Pyter, 2018. - 400 s.: yl.
2. Ofitsiyniyi sait Bibleoteki TensorFlow movy Python [Elektronnyi resurs]: - Rezhym dostupu: <https://www.tensorflow.org/>
3. Anhlomovnyi sait Kaggle [Elektronnyi resurs]: - Rezhym dostupu: <https://www.kaggle.com/>
4. Rostovtsev V.S. Yskusstvennye neironnye sety: uchebnyk / V.S.Rostovtsev. — Sankt-Peterburh : Lan, 2019. — 216s.

Received 15.05.2021.

Accepted 17.05.2021.

Применение нейросетевых технологий

для выявления пневмонии по рентгеновскому снимку

Работа посвящена разработке приложения для выявления пневмонии по рентгеновским снимкам с применением нейросетевых технологий на языке Python.

Целью работы является разработка программы для выявления пневмонии по рентгеновским снимкам с применением нейросетевых технологий.

Была разработана и обученная згорткових нейронная сеть для классификации рентгеновских снимков, а также было реализовано приложение для распознавания пневмонии по рентгеновским снимкам на основе нейросетевых технологий с использованием языка программирования Python 3.7, среды JetBrains PyCharm Community Edition 2019.2.2 и библиотек Keras 2.3.1, Numpy 1.16.4 и PyQt5 для реализации интерфейса.

Application of neural network technologies to detect pneumonia by X-ray

The work is devoted to the development of an application for detecting pneumonia from X-ray images using neural network technologies in the Python language.

The aim of the work is to develop a program for detecting pneumonia by X-ray images using neural network technologies.

A neural network for the classification of R-NT images was developed and trained, and an application for pneumonia recognition by X-ray images based on neural network technologies was implemented using the Python 3.7 programming language, JetBrains PyCharm Community Edition 2019.2.2 environment and Keras 2.3 libraries. .1, Numpy 1.16.4 and PyQt5 to implement the interface.

Островська Катерина Юріївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Мінаєнко Анна - студентка кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Островская Екатерина Юрьевна - к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Минаенко Анна– студентка кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Ostrovskaya Ekaterina Yurievna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Minaenko Anna - student of the Information Technologies and Systems Department, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Т.В. Селівьорстова

**КОМП'ЮТЕРНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
РЕАЛІЗАЦІЇ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ТИСКУ НА РОЗПЛАВ ПРИ
САМОГЕРМЕТИЗАЦІЇ ВИЛИВКА**

Анотація. Стаття присвячена розробці комп'ютерної імітаційної моделі технологічного процесу реалізації газодинамічного тиску на розплав при самогерметизації виливка. Описаний процес розроблення імітаційної моделі технологічного процесу на прикладі сталевих злитків. Значну увагу приділено етапу оцінки параметрів здійснення технології, який включає математичне моделювання процесу затвердіння сталевих злитків, аналіз температурних полів для визначення часу герметизації та темпу подачі регульованого газового тиску під час затвердіння виливка. Інформаційна модель технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі для сталевих злитків представлена у вигляді таблиці, що містить опис порядку проведення даного технологічного процесу, зміст етапів та їхню тривалість. Описано процедуру реалізації розробленої імітаційної моделі у вигляді комп'ютерної моделі – ігрового екшен додатку «Virtual Foundry». Представлений універсальний ігровий pipeline, який було реалізовано засобами графічного 3D моделювання з врахуванням сценарію взаємодії гравця з ігровим оточенням. Представлений інтерфейс графічного симулятора «Virtual Foundry», ігрові сцена та кадри 2D анімації. Відзначено наукову новизну розробленої інформаційної моделі технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі, реалізованої комп'ютерної імітаційної моделі у вигляді графічного симулятора «Virtual Foundry».

Ключові слова: Імітаційна модель, технологічний процес, графічний симулятор, unity engine, virtual foundry, газодинамічний вплив, якість навчання.

Вступ. В теперішній час розроблення об'єктів нової техніки й нових технологій потребує ефективного використання методів обчислювальної математики для вирішення проблем дослідження та адаптації в конкретних умовах застосування. Створення ефективних програмних засобів комп'ютерної реалізації розробок не можливе без модифікації й спеціалізації існуючих обчислювальних методів з метою підвищення їх ефективності, створення і

дослідження нових обчислювальних методів і алгоритмів, що враховують особливості реальних технічних та технологічних задач.

Технологічний процес газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі включає в себе комплекс технічних, технологічних рішень та результати використання обчислювальних методів [1 – 5]. З іншого боку, невід’ємною частиною ефективного впровадження та експлуатації нової технології є здійснення якісної підготовки відповідних інженерних та виробничих кадрів [6]. Наявний світовий досвід демонструє стрімке поширення використання комп’ютерних імітаційних моделей в навчальному процесі у вигляді ігрових інтерактивних додатків [7 – 10]. Застосування імітаційних моделей в навчальному процесі вкрай важливе, зокрема, і в умовах пандемії COVID-19 при дистанційному навчанні.

В роботі розглядається процедура розробки імітаційної моделі, що демонструє технологію газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.

Аналіз стану питання. Імітаційне моделювання застосовується у всіх сферах діяльності людини починаючи від моделей технічних, технологічних та організаційних систем. Реалізація імітаційної моделі у вигляді комп’ютерної моделі може бути використана для отримання нових знань про об’єкт та наближеної оцінки поведінки систем, занадто складних для аналітичного дослідження [11].

Особливістю технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі є його інженерна складність, що призводить до неможливості аналітичного опису і побудови формальних моделей. Як інструмент для аналізу цього технологічного процесу обрано імітаційне моделювання. В даному випадку імітаційне моделювання надає можливість відтворити технологічний процес в динаміці. Важливо відзначити, що імітуються елементарні явища, з яких складається процес, зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі, що дозволяє за вихідними даними отримати відомості про стани процесу в певні моменти часу.

Метою роботи є розробка комп’ютерної імітаційної моделі технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі, що наочно демонструє найбільш значущі особливості реалізації технології.

Основний матеріал. Відомо, що побудова комп’ютерної моделі базується на абстрагуванні від конкретної природи явищ або досліджуваного об’єкта-оригіналу і складається з двох етапів [11]. Перший етап потребує створення інформаційної моделі у вигляді вербального опису, графіків, діаграм. Другий

етап полягає в реалізації імітаційної моделі на базі інформаційної моделі шляхом застосування відповідних комп'ютерних технологій.

В основу інформаційної моделі технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі були покладені результати низки теоретичних [12, 13] та експериментальних досліджень [14, 15].

Розглянемо етапи технологічного процесу застосування газодинамічного тиску (таблиця 1) на прикладі сталевого злитка номенклатури ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» (рисунок 1).

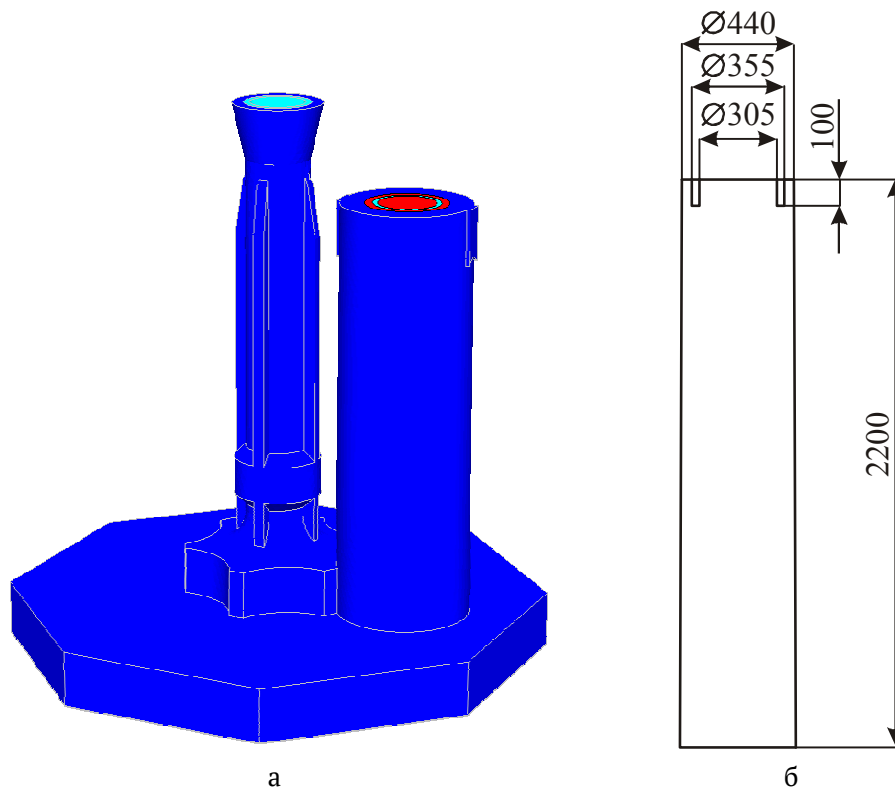


Рисунок 1 – Загальний вигляд ливарної форми (а) і схема розміщення корпусного холодильника в злитку з надливною вставкою (б)

Слід зазначити, що, зважаючи на різноманітність варіантів реалізації процесу ГДВ, яка пов'язана з можливістю використання для різних способів лиття, відповідно – різних умов затвердіння, варіантів виготовлення форм, конфігурації та маси виливків, видів сплавів та ін., тривалість окремих етапів може значно відрізнятись. Окрім того, перелік етапів може бути розширений при необхідності більш детального ознайомлення з окремими складовими процесу або планування конкретних технологічних операцій з точки зору забезпечення необхідною ресурсною базою.

**Інформаційна модель технологічного процесу газодинамічного впливу
на розплав в ливарній формі сталевого злитка**

Номер етапу	Назва етапу	Орієнтовна тривалість етапу	Опис етапу
1	Оцінка параметрів здійснення технології	20 – 40 год.	Визначення часу, що необхідний для герметизації виливка в ливарній формі, часу повного затвердіння виливка, розрахунок термочасових та динамічних режимів створення тиску в системі виливок-пристрій для введення газу.
2	Заливка розплаву	7 – 10 хв.	Ківш з розплавом переміщується до центральної (стояка), проводиться заливка розплаву через сифонну ливникову систему.
3	Введення пристрою для подачі газу	До 5 хв	Пристрій для подачі газу переміщується до злитка за допомогою крану, занурюється в надливну частину злитка. Приєднується до газопроводу.
4	Герметизація виливка	100 – 150 с	Утворення затверділого шару металу необхідної міцності товщиною не менше 10 мм на поверхні виливка.
5	Подача регульованого газового тиску під час затвердіння виливка	65 – 70 хв	За допомогою системи трубопроводів обладнаної регулятором режиму подачі тиску газу від зовнішнього джерела у вигляді балону або компресорної установки. По закінченню процесу припинення подачі газу та вирівнювання тиску в системі з атмосферним.
6	Видалення газопроводу	2 – 3 хв	Від'єднання гнучкого газопроводу від газопостачального патрубку корпусного холодильника пристрою для введення газу.

Етап оцінки параметрів здійснення технології передбачає визначення принципової можливості реалізації технології ГДВ на підставі, в тому числі, результатів комп'ютерного моделювання процесу затвердіння виливка. В даному випадку, комп'ютерне моделювання передбачає розв'язання теплової задачі та отримання температурних полів виливка з метою встановлення розташування теплових вузлів та оцінки якості їхнього живлення. Процедура моделювання може бути проведена з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, як то MagmaSoft, ProCAST, SolidCast, CastCAE, NovaCast AB,

WinCast, CSS (Casting Simulation Software) PoligonSoft, LVMFlow та інших [16]. Тривалість етапу оцінки параметрів здійснення технології істотно залежить від кваліфікації спеціаліста та його рівня володіння обраним програмним забезпеченням. В даному випадку креслення виливка і ливарної форми були виконані в середовищі твердотільного моделювання SolidWorks, моделювання процесу твердіння виливка виконані в PoligonSoft. В свою чергу, процедура моделювання в PoligonSoft складається з етапів:

- створення геометрії об'єкту моделювання (SolidWorks),
- розбиття 3D моделі на певну кількість кінцевих елементів (спеціалізоване програмне забезпечення Altair HyperMesh),
- імпорт підготовленого набору кінцевих елементів в PoligonSoft,
- вибір та задання теплофізичних властивостей матеріалу злитка (модуль «Сплав. Теплові властивості сплаву» PoligonSoft),
- вибір та задання теплофізичних властивостей матеріалів ливарної форми, надливної вставки (модуль «Сплав. Властивості матеріалів форми» PoligonSoft),
- визначення та задання граничних умов теплообміну на поверхні виливка, ливарної форми та між ними (модуль «Сплав. Параметри теплопередачі» PoligonSoft),
- визначення та задання початкових температур матеріалів злитка і форми (модуль «Сплав. Температура» PoligonSoft),
- визначення та задання усадкових властивостей сплаву (модуль «Сплав. Усадкові властивості сплаву» PoligonSoft),
- отримання температурних полів виливка в різні проміжки часу (модуль «Эйлер-3D» PoligonSoft),
- аналіз температурних полів з оцінкою кінетики затвердіння (засоби PoligonSoft).

В розглянутому випадку результати моделювання, наведені на рисунку 2, свідчать про те, що процес герметизації системи виливок-пристрій для подачі газу настає через 100 секунд після завершення заливки.

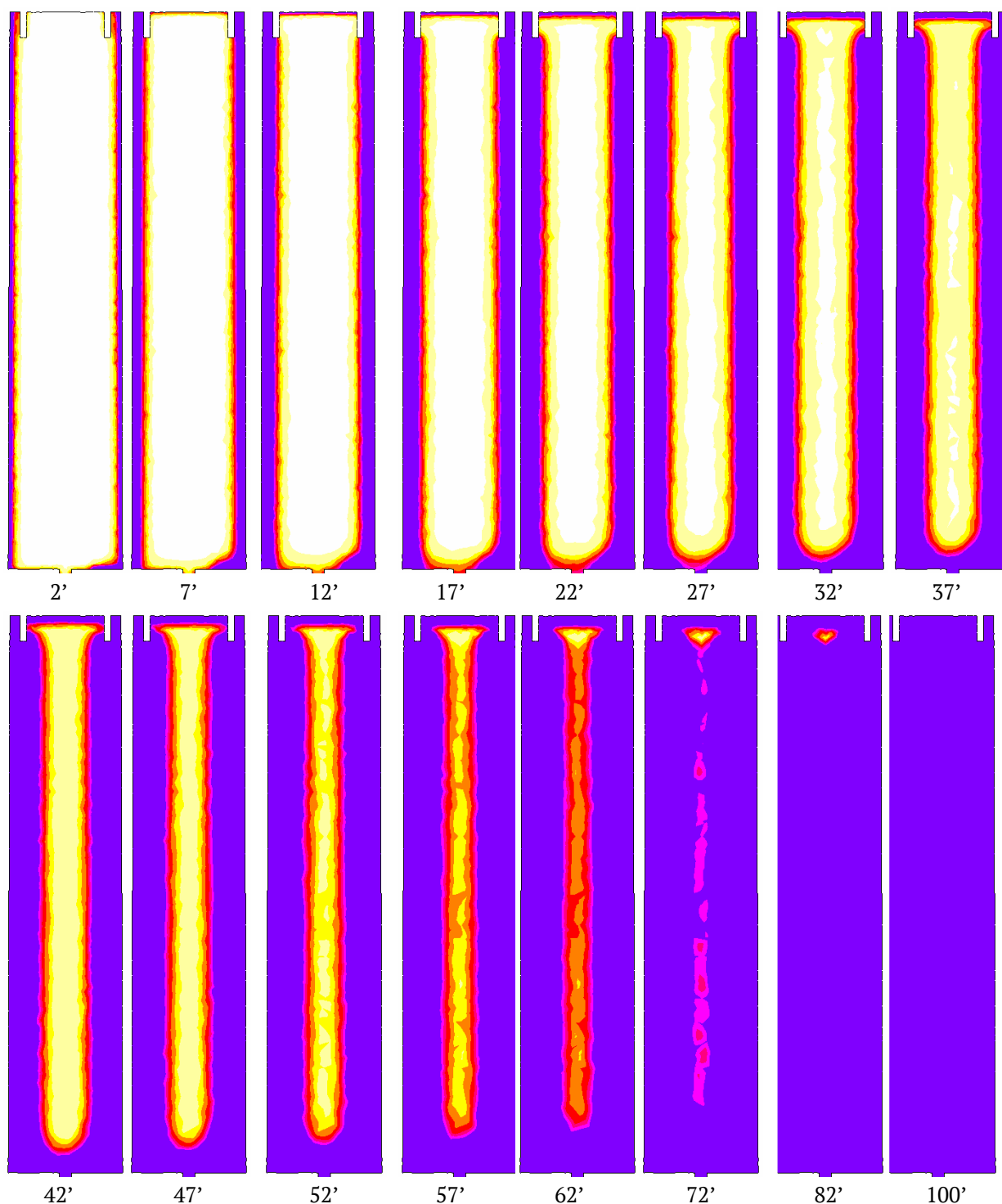


Рисунок 2 – Динаміка затвердіння злитка під дією сил гравітації і атмосферного тиску

Комп'ютерна імітаційна модель технологічного процесу реалізації газодинамічного тиску на розплав будується на базі інформаційної моделі (таблиця 1, рисунок 1) і представляє собою графічний інтерактивний ігровий додаток. Процедура розробки ігрових додатків досить складна і передбачає послідовне виконання етапів універсального ігрового pipeline (рисунок 3) [17].

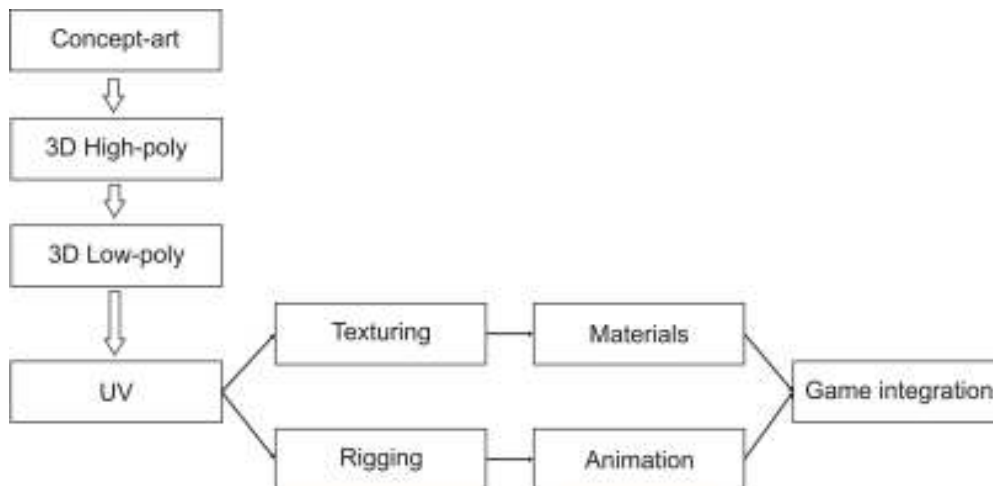


Рисунок 3

Відносно 3D графіки pipeline – це ланцюжок процесів перетворення сценарію в 2D, 3D картинку або в послідовність картинок – відео. Реалізація pipeline потребує послідовного застосування набору програмного забезпечення, що включає:

- Autodesk 3ds Max – 3D моделювання;
- Marmoset Toolbag 3 – запікання карт;
- Substance Painter – накладання текстур;
- Adobe Photoshop – додаткова графіка;
- Unity Engine – збірка додатку в програмному рушії.

В результаті реалізації pipeline сумісно з розробленим сценарієм взаємодії ігрового оточення з гравцем [18, 19] та інформаційною моделлю технології ГДВ було розроблено додаток у вигляді рольової екшен гри «Virtual Foundry» (рисунок 4).



Рисунок 4 – Гра «Virtual Foundry», заливка розплаву в ливарну форму

Гра «Virtual Foundry» представляє собою графічний симулятор, дії в якому відбуваються в ливарному цеху. Гравець виконує роль технолога або майстра ливарного цеху, має можливість переміщення по цеху, управління технологічним процесом згідно розробленої інформаційної моделі. Крім того, реалізована можливість ознайомлення з динамікою процесу твердіння та утворення усадкових дефектів на перерізі виливку у вигляді 2D анімації (рисунок 5).



Рисунок 5 – Кадр 2D-анімації

Інтерфейс гри налаштований в Unity Engine (рисунок 6) і містить опис логічної структури гри «Virtual Foundry».

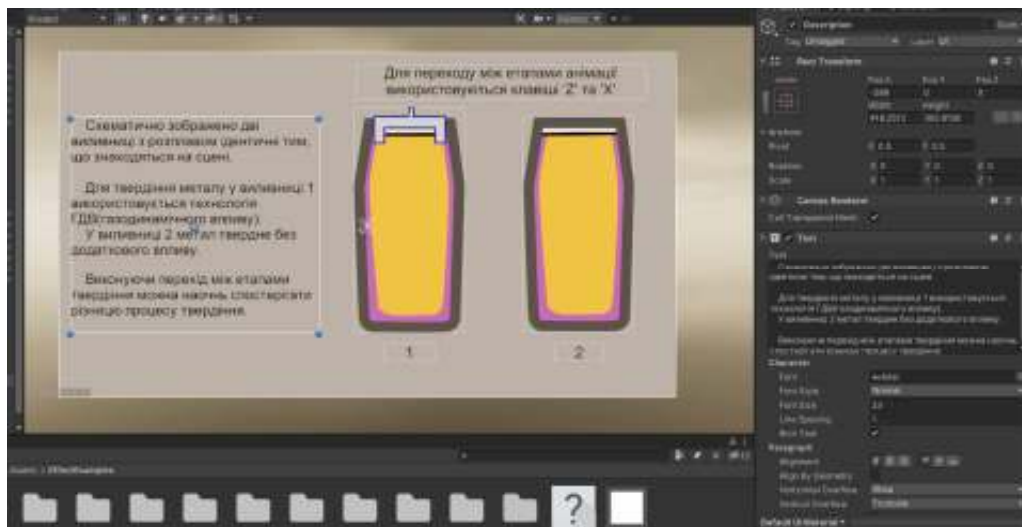


Рисунок 6 – Створення інтерфейсу користувача гри «Virtual Foundry» в Unity Engine

Висновки. В ході виконання роботи, що присвячена розробці комп'ютерної імітаційної моделі технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі, отримані наступні нові наукові результати:

1) вперше побудовано інформаційну модель технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі сталевих злитка;

2) вперше реалізовано комп'ютерну імітаційну модель технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі у вигляді графічного симулятора «Virtual Foundry».

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Селівьорстов В.Ю., Селівьорстова Т.В. Перспективи використання комплексних технологій газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 5 (130). – Дніпро, 2020. – С.122 – 143. МНБ: Index Copernicus, Ulrichsweb Global Serials Directory. ISSN 1562-9945 (Print), ISSN 2707-7977 (Online). <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-130-2020-14>
2. Пат. 28859 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708969; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
3. Пат. 37838 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808859; заявл.07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
4. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
5. Селівьорстов В.Ю. Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокілі // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 1-2. – С. 41 - 45.
6. Говоров А.И. Оценка актуальности разработки методов использования средств геймификации и игровых технологий в системах управления обучением / А. И. Говоров, М. М. Говорова, Ю. О. Валитова. // Компьютерные инструменты в образовании. – 2018. – №2. – С. 39–54. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2018-2-39-54>
7. Soboleva, E. V., Sokolova, A. N., Isupova, N. I., & Suvorova, T. N. (2017). Use of training programs based on gaming platforms for improving the effectiveness of education. Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin, 7(4), 7-25. doi:10.15293/2226-3365.1704.01
8. Zulkefli, N. A. M., Hashim, H., & Syahrin, S. (2020). Evaluating e-learning google classroom tools for computer science subjects during covid-19 pandemic. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9(4), 6251-6258. doi:10.30534/ijatcse/2020/304942020
9. Surendeleg, G., Murwa, V., Yun, H. -, & Kim, Y. S. (2014). The role of gamification in education - a literature review. Contemporary Engineering Sciences, 7(29-32), 1609-1616. doi:10.12988/ces.2014.411217
10. Wan Ishak, W. H., & Yamin, F. M. (2020). Student acceptance on game to support teaching and learning. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9(3), 2517-2521. doi:10.30534/ijatcse/2020/05932020

11. Строгалев В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. – МГТУ им. Баумана, 2008. – С. 697 – 737. – ISBN 978-5-7038-3021-5.
12. Селиверстов В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.
13. Селиверстов В.Ю. Особенности процесса герметизации отливки в форме ЛВМ для осуществления газодинамического воздействия /В.Ю. Селиверстов, П.Д. Куш //Теория и практика металлургии. – 2010. – № 5 – 6. – С. 95 – 98.
14. Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В., Доценко Ю.В., Мушенков Ю.А. Влияние газодинамического воздействия на распределение сульфидных включений в цилиндрической отливке из углеродистой стали, затвердевающей в кокиле // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - №5. - С. 40 – 43.
15. Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Носко О.А., Доценко Ю.В., Куш П.Д. Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 5-6. – С. 80-85.
16. Токова О. В. Огляд методів та засобів комп'ютерного моделювання процесів ливарного виробництва / О. В. Токова. // Індуктивне моделювання складних систем. – 2017. – №9. – С. 204–213.
17. Marco. Game Development Pipeline: From Concept To Store [Електронний ресурс] / Marco – Режим доступу до ресурсу:
<https://gamedevelopertips.com/game-development-pipeline/>.
18. Чернов О.Д., Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю. Особливості реалізації інтерактивного додатку для вивчення технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі // V Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Сучасні інформаційні технології в освіті та науці» 12 листопада 2020 р. С. 139 – 143.
19. Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Чернов О.Д. Особливості реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі //Системні технології. – Дніпро, 2021. – Вип. 1 (131). – С. 3 – 21.

REFERENCES

1. Selivorstov VY, Selivorstova TV Prospects for the use of complex technologies of gas-dynamic influence on the melt in the mold // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific works. - Issue 5 (130). - Dnipro, 2020. - P.122 – 143. MNB: Index Copernicus, Ulrichsweb Global Serials Directory. ISSN 1562-9945 (Print), ISSN 2707-7977 (Online).
<https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-130-2020-14>
 2. Pat. 28859 Ukraine, IPC (2006) B22D 18/00. Device for obtaining castings / Seliverstov VY, Khrychikov VE, Dotsenko YV - № 200708969; application 03.08.2007; publ. 25.12.2007, Bull.№21.
- ISSN 1562-9945 (Print) 205
ISSN 2707-7977 (Online)

3. Pat. 37838 Ukraine, IPC (2006) B22D 18/00. The method of obtaining castings / Seliverstov VY, Khrychikov VE, Dotsenko YV - № 200808859; application 07.07.2008; publ. 10.12.2008, Bull.№23.
4. Pat. 37837 Ukraine, IPC (2006) B22D 18/00. Device for obtaining castings / Seliverstov VY, Khrychikov VE, Dotsenko YV - № 200808858; declared 07.07.2008; publ. 10.12.2008, Bull.№23.
5. Seliverstov V.Yu. Features of calculation of gas-dynamic influence on the metal hardening in a mold // Theory and practice of metallurgy. - 2009. -№ 1-2.- P. 41 - 45.
6. Govorov A.I. Assessment of the relevance of developing methods for using gamification tools and game technologies in learning management systems / A.I. Govorov, M.M. Govorova, Yu.O. Valitova. // Computer tools in education. - 2018. - No. 2. - S. 39–54. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2018-2-39-54>
7. Soboleva, E. V., Sokolova, A. N., Isupova, N. I., & Suvorova, T. N. (2017). Use of training programs based on gaming platforms for improving the effectiveness of education. Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin, 7(4), 7-25. doi:10.15293/2226-3365.1704.01
8. Zulkefli, N. A. M., Hashim, H., & Syahrin, S. (2020). Evaluating e-learning google classroom tools for computer science subjects during covid-19 pandemic. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9(4), 6251-6258. doi:10.30534/ijatcse/2020/304942020
9. Surendeleg, G., Murwa, V., Yun, H. -, & Kim, Y. S. (2014). The role of gamification in education - a literature review. Contemporary Engineering Sciences, 7(29-32), 1609-1616. doi:10.12988/ces.2014.411217
10. Wan Ishak, W. H., & Yamin, F. M. (2020). Student acceptance on game to support teaching and learning. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9(3), 2517-2521. doi:10.30534/ijatcse/2020/05932020
11. Strogalev V., Tolkacheva I. Simulation modeling. - MSTU im. Bauman, 2008 .-- S. 697 - 737.
12. Seliverstov V.Yu. The technology of gas-dynamic action on the melt in a casting mold is one of the most promising ways to improve the quality of the metal of castings // Modern problems of metallurgy. Scientific works. 2007. - Volume 10. - P. 25 - 35.
13. Seliverstov V.Yu. Features of the process of sealing a casting in the form of a LVM for the implementation of gas-dynamic action / V.Yu. Seliverstov, P.D. Kushch // Theory and practice of metallurgy. - 2010. - No. 5 - 6. - P. 95 - 98.
14. Seliverstov V.Yu., Mikhailovskaya T.V., Dotsenko Yu.V., Mushenkov Yu.A. Influence of gas-dynamic impact on the distribution of sulfide inclusions in a cylindrical casting made of carbon steel, solidified in a chill mold // Metallurgical and mining industry. - 2009. - No. 5. - P. 40 - 43.

15. Seliverstov V., Khrychikov V., Kutsova V., Nosko O., Dotsenko Y., Kushch P. Peculiarities of structure formation of cast carbon steel under gas-dynamic influence // Theory and practice of metallurgy. - 2009. - № 5-6. - P. 80-85.
16. Tokova O. Review of methods and means of computer modeling of foundry production processes / OV Tokova. // Inductive modeling of complex systems. - 2017. - №9. - P. 204–213.
17. Marco. Game Development Pipeline: From Concept To Store [Electronic resource] / Marco – Режим доступу до ресурсу <https://gamedevelopertips.com/game-development-pipeline/>.
18. Chernov O., Seliverstova T., Seliverstov V. Features of implementation of an interactive application for studying the technology of gas-dynamic influence on the melt in the mold // V All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation "Modern information technologies in education and science" November 12, 2020 P. 139 - 143.
19. Selivorstova T., Selivorstov V., Chernov O. Peculiarities of realization of graphic interactive game application for acquaintance with technology of gas-dynamic influence on melt in foundry form // System technologies. - Dnipro, 2021. - Issue. 1 (131). - P. 3 - 21.

Received 15.05.2021.

Accepted 17.05.2021.

Компьютерная имитационная модель технологического процесса реализации газодинамического давления на расплав при самогерметизации отливки

Статья посвящена разработке компьютерной имитационной модели технологического процесса реализации газодинамического давления на расплав при самогерметизации отливки. Описан процесс разработки имитационной модели данного технологического процесса на примере стального слитка. Значительное внимание уделено этапу оценки параметров осуществления технологии, который включает математическое моделирование процесса затвердевания стального слитка, анализ температурных полей для определения времени герметизации и темпа подачи регулируемого газового давления во время затвердевания отливки. Информационная модель технологического процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме для стального слитка представлена в виде таблицы, содержащей описание порядка проведения данного технологического процесса, содержание этапов и их продолжительность. Описана процедура реализации разработанной имитационной модели в виде компьютерной модели - игрового экшена приложения «Virtual Foundry». Представлен универсальный игровой pipeline, который был реализован средствами графического 3D моделирования с учетом сценария взаимодействия игрока с игровым окружением. Представлен интерфейс графического симулятора «Virtual Foundry», игровая сцена и кадры 2D анимации. Отмечены научная новизна разработанной информационной модели технологического процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, реализованной компьютерной имитационной модели в виде графического симулятора «Virtual Foundry».

Computer simulation model of the technological process of realizing gas-dynamic pressure on the melt during self-sealing of the casting

The article is devoted to the development of a computer simulation model of the realizing gas-dynamic pressure technological process on the melt during self-sealing of a casting. The process of developing a simulation model of this technological process is described on the example of a steel ingot.

Considerable attention is paid to the stage of evaluating the parameters of the technology implementation, which includes mathematical modeling of the steel ingot solidification process, analysis of temperature fields to determine the sealing time and the rate of controlled gas pressure supply during the solidification of the casting.

The information model of the gas-dynamic action technological process on the melt in a casting mold for a steel ingot is presented in the form of a table containing a description of the procedure for carrying out this technological process, the content of the stages and their duration. This information model contains the following stages: assessment of technology implementation parameters, pouring melt, gas supply device introduction, casting sealing, supply of regulated gas pressure during the solidification of the casting, pipeline removal.

The procedure for the implementation of the developed simulation model in the form of a computer model - a game "Virtual Foundry" application is described. A universal game pipeline is presented, implemented by means of graphical 3D modeling, taking into account the scenario of the player's interaction with the game environment. The interface of the Virtual Foundry graphic simulator, the game scene and 2D animation frames are presented.

The scientific novelty of the technological process of gas-dynamic influence developed information model on the melt in a casting mold, implemented by a computer simulation model in the form of a graphic simulator "Virtual Foundry" is noted.

Селиверстова Татьяна Витальевна - к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины, ORCID 0000-0002-2470-6986.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України, ORCID 0000-0002-2470-6986.

Selivyorstova Tatjana - candidate of technical science, assistant professor, Department of information technology and systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine, ORCID 0000-0002-2470-6986

ЗМІСТ

CONTENTS

Малич Н.Г., Усов О.А. Моделювання локального контактного впливу характеристик тертя на міцність шихтових матеріалів	3	Malich N.G., Usov O.A. Modeling the local contact influence of friction characteristics on the strength of charge materials	3
Кібукевич Ю.О. Порівняльний аналіз показників NDVI для різночасових оптичних і радарних зображень	22	Kibukevych Iuliia Comparative analysis of NDVI for optical and radar images	22
Ахметшина Л.Г., Митрофанов С.К., Кныш А.В. Улучшение полутоновых изображений в базисе характери- стик сингулярного разложения	28	Akhmetshina L. G., Mitrofanov S.K., Knysh A.V. Improvement of grayscale images in the basis of singular decomposi- tion characteristics "	28
Безуб В.М. Особенности использования нейро- регулятора для управления тепло- выми металлургийными процессами	39	Bezub V.M. Features of using neuroregulator to control thermal metallurgical processes	39
Куцова В.З., Иванченко В.Г., Котова Т.В., Ковзель М.А. Влияние дрессування на структуру і властивості гарячекатаної листової сталі для холодної штамповки	46	Kutsova V.Z., Ivanchenko V.G., Kotova T.V., Kovzel M.A. Influence of skin-rolling on the structure and properties of hot- rolled sheet steel for cold stamping	46
Кліщ С.М., Гуда А.І., Синиціна Ю.П., Мала Ю.А. Практичний підхід до аналізу шкідливого програмного забезпе- чення	58	Klishch S., Guda A., Synytsina Yu., Mala Yu. A practical approach to malware analysis	58
Гнатушенко Вік.В., Руденко В.П., Царик В.Ю. Проектування ІТ бізнес моделі на основі безсерверних сервісів	70	Hnatushenko Vik.V., Rudenko V.P., Tsaryk V.U. Design of IT business model based on serverless services	70
Кіріченко Л.О., Степаненко Є.Д., Яндуков Д.Є. Класифікація часових рядів із ви- користанням рекуррентних діаграм	81	Kirichenko L.O., Stepanenko Y.D., Yandukov D.Y. Time series classification using re- currence charts	81

Цвіркун Л.І., Ткаченко С.М., Бешта Л.В. Алгоритми енергоефективного використання шахтних водовідливних установок із застосуванням методу передпікового вмикання	88	Tsvirkun L.I., Tkachenko L.I., Beshta L.V. Algorithms for Energy Efficient Use of Mine Drainage Plants Using the Peak Peak Method	88
Батурінець А.Г., Антоненко С.В. Визначення схожих гідрологічних рядів даних з використанням коефіцієнтів кореляції	98	Baturinets A., Antonenko S. Search similar hydrological data series using correlation coefficients	98
Швачич Г.Г., Возна Н.Й., Іващенко Є.В., Білий О.П., Мороз Д.М. Ефективні алгоритми розпараале- лювання тридіагональних систем рівнянь	110	Shvachych G.G., Vozna N.J., Ivashchenko E.V., Bilyi O.P., Moroz D.M. Efficient algorithms for paralleliz- ing tridiagonal systems of equa- tions	110
Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Улучшение полутоновых изобра- жений в базисе ортогональных ха- рактеристик нечеткости типа_2	120	Akhmetshina L.G., Yegorov A.A. Improvement of grayscale images in the basis of orthogonal trans- formations of fuzzy sets type_2 characteristics "	120
Быткин С.В., Критская Т.В. Прогнозирование в среде MATHCAD роста сложности борто- вой аппаратуры космических ап- паратов при недостаточной ра- диационной стойкости элемент- ной компонентной базы	134	Bytkin S.V., Kritskaya T.V. Forecasting in the MATHCAD envi- ronment of the increasing com- plexity of the on-board equipment of space vehicles with insufficient radiation resistance of the elemen- tary component base	134
Бубліков А.В., Прядко Н.С., Тернова К.В., Соснін К.В. Ідентифікація режиму руйнування вугільного масиву виконавчим ор- ганом очисного комбайна	144	Bublikov A.V., Pryadko N.S., Ternova K.V., Sosnin K.V. The identification of mode of coal seam cutting by shearer's drum	144
Алексеев О.М., Бердник М.Г. Математична модель і метод рішення узагальненої задачі Неймана теплообміну тіла півсферичної форми комбайна	159	Berdnyk M.H., Aleksieiev O.M. Mathematical model and method for solving the generalized Neu- mann problem of heat exchange of a hemispherical body	159

Гавриленко О.В., Новіченко Н.В. Дослідження оптимізаторів нейронної мережі для класифікації зображень будівель за архітектурним стилем	169	Gavrylenko O.V., Novichenko N.V. Neural network optimizers for buildings architec- tural style classification task	169
Чернецький Я.С., Ліхоузова Т.А. Додаток для проєктування та аналізу плану будівлі згідно норм пожежної безпеки	180	Chernetskyi Y. S., Likhousova T. A. Design and analysis of the building plan according to fire safety standards	180
Островська К.Ю., Мінаєнко А.С. Застосування нейромережних технологій для виявлення пневмонії по рентгенівським знімкам	189	Ostrovskaya K.Yu., Minaenko A. Application of neural network technologies to detect pneumonia by X-ray	189
Селівьорстова Т.В. Комп'ютерна імітаційна модель технологічного процесу реалізації газодинамічного тиску на розплав при самогерметизації виливка	196	Selivyorstova T. Computer simulation model of the technological process of realizing gas-dynamic pressure on the melt during self-sealing of the casting	196

РЕФЕРАТИ

УДК 621.878

Малич Н.Г., Усов О.А. **Моделирование локального контактного влияния характеристик тертя на прочность шихтовых материалов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.3 - 21.

Розроблено математичну модель руйнування кубічних зразків гірських порід при наявності контактного тертя. Розроблено метод, алгоритм і програму розрахунку граничного вертикального напруження у вершині тріщини, яка розвивається та межі міцності кубічних зразків шихтової сировини з використанням трьох показників властивостей (межа опору матеріалу зсуву, кут внутрішнього тертя, коефіцієнт контактного тертя), які простими способами можуть бути встановлені експериментально в умовах гірничорудних підприємств, де результати розрахунку можуть бути оперативно використані для управління процесами дезінтеграції.

Бібл.8.

УДК 528.8

Кібукевич Ю.О. **Порівняльний аналіз показників NDVI для різночасових оптичних і радарних зображень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.22 - 27.

У роботі проведено порівняльний аналіз показників NDVI для різночасових оптичних і радарних зображень зі супутників Landsat-8, Sentinel-1 та Sentinel-2 та визначено залежність стану озимої пшениці від кількості опадів. Дослідження були проведені на ділянках з озимою пшеницею. У роботі було виявлено найвищу кореляцію між показниками NDVI, які отримані за допомогою радарного супутника Sentinel-1, та показниками кількості опадів. Проведені дослідження показали, що супутниковий моніторинг полів за допомогою радарної зйомки є більш ефективним за оптичну зйомку.

Бібл. 7, іл. 4.

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Митрофанов С.К., Кныш А.В. **Улучшение полутоновых изображений в базисе характеристик сингулярного разложения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.28 - 38.

Представлены информационные возможности метода обработки полутоновых изображений, направленного на повышение чувствительности и достоверности их визуального анализа. Предлагаемый алгоритм основан на процессе многоэтапной обработки, включающей расширение пространства входных признаков – формирование многомерного ансамбля на основе исходных данных с использованием оконного преобразования, сингулярного разложения, синтез и визуализацию новых информативных признаков. Показано, что применение оконной обработки для полутоновых изображений позволяет перейти в многомерное пространство и применять методы многомерной обработки, а именно, сингулярное преобразование, на базе которого можно обеспечить повышение контрастности, чувствительности и раз-

решающей способности визуального анализа. Приведены экспериментальные результаты на примере реальных снимков.

Библ. 9, рис. 3, табл. 1.

УДК 681.5.042

Безуб В.М. **Особливості використання нейрорегулятора для управління тепловими металургійними процесами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.39 - 45.

Показані особливості використання нейрорегуляторів для управління тепловими металургійними процесами. Запропоновано спосіб інтенсифікації алгоритму навчання нейронної мережі.

Бібл 4., рис 2.

УДК 621.771.23.09

Куцова В.З., Иванченко В.Г., Котова Т.В., Ковзель М.А. **Вплив дресування на структуру і властивості гарячекатаної листової сталі для холодної штамповки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.46 - 57.

Досліджено вплив дресування на структуру і властивості гарячекатаних сталевих штаб та листів, які призначені для холодної штамповки. Встановлено, що додаткове дресування прокату із сталі 08кп та відпал при температурі 600-800оС забезпечує формування рівня властивостей та мікроструктуру відповідно до ГОСТ 4041–2017.

Визначено, що для отримання необхідного комплексу механічних властивостей і мікроструктури в гарячекатаному товстолистовому прокаті із низьковуглецевої киплячої сталі необхідно, щоб сумарний ступінь деформації перед відпалом перевищував критичний.

Досліджено вплив дресування на структуру та механічні властивості гарячекатаної листової сталі. Встановлено, що з метою підвищення пластичності гарячекатаних штаб та забезпечення рівня механічних властивостей металу і структури згідно з ГОСТ 4041–2017 доцільно здійснити вибір параметрів дресування для отримання якісної листової сталі для холодної штамповки.

Бібл. 9, іл. 2, табл. 2.

УДК 004.056.5

Кліщ С.М., Гуда А.І., Синиціна Ю.П., Мала Ю.А. **Практичний підхід до аналізу шкідливого програмного забезпечення** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.58 - 69.

Розглянуто основні типи шкідливого програмного забезпечення. Опрацьовано деякі основні методи аналізу шкідливого програмного забезпечення. Представлено набір посилань з інструментами що можуть бути використані для деталізованої оцінки поведінки шкідливого семплу. Надано список попередньо сконфігурованих віртуальних машин для форензики. Розглянуто основи аналізу поведінки шкідливого програмного забезпечення.

Бібл. 4, іл. 3, табл. 3.

УДК 004.9; 004.65

Гнатушенко Вік.В., Руденко В.П., Царик В.Ю. **Проектування ІТ бізнес моделі на основі безсерверних сервісів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.70 - 80.

Аналіз існуючих хмарних сервісів, які надають можливість створення безсерверних сервісів для проектування систем та зберігання даних, забезпечують кібербезпеку мережесих додатків. Розроблена система з використанням AWS (Amazon Web Services), яка призначена для розробки, проектування та модернізації сучасних «локальних» бізнес моделей, задля підвищення ефективності та економії ресурсів.

Бібл. 5, іл. 3.

УДК 519.2:004.9

Кіріченко Л.О., Степаненко Є.Д., Яндуков Д.Є. **Класифікація часових рядів із використанням рекуррентних діаграм** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.81 - 87.

У статті описано новий підхід до класифікації часових рядів на основі їх рекуррентних діаграм. В якості класифікатора зображень використовується згортова нейронна мережа. Даними для класифікації є реалізації електрокардіограм. Результати досліджень вказують на добру точність класифікації порівняно з іншими методами та потенційні можливості цього підходу.

Бібл.10, рис. 3, табл.1.

УДК 621.818.23

Цвіркун Л.І., Ткаченко С.М., Бешта Л.В. **Алгоритми енергоефективного використання шахтних водовідливних установок із застосуванням методу передпікового вмикання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.88 - 97.

У статті відзначено, що одним з найбільш енергоємних технологічних процесів при підземному способі видобутку корисних копалин є відкачування води на поверхню. Наведені результати аналізу застосування алгоритмів керування насосними агрегатами вугільної шахти при дотриманні методу передпікового вмикання відповідно до графіка навантаження енергосистеми. Показано, що алгоритм керування по трьох точках дозволяє розподілити процес відкачування протягом доби так, щоб результуючі грошові витрати виявилися мінімальними.

Бібл. 7, рис. 3.

УДК 004.67:519.25

Батурінець А.Г., Антоненко С.В. **Визначення схожих гідрологічних рядів даних з використанням коефіцієнтів кореляції** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.98 - 109.

Представлено та описано розроблену складову програмного забезпечення для визначення схожих рядів даних, що представлені певними показниками. В основі обчислювальної схеми покладено використання коефіцієнтів кореляції Спірмена та Пірсона, а також оцінок,

що використовуються в регресійному аналізі. Показано результати обчислювального експерименту на рядах даних, що представлені показниками рівня води.

Бібл. 10, іл. 4, табл. 3.

УДК 004.032.24

Швачич Г.Г., Возна Н.Й., Іващенко Є.В., Білий О.П., Мороз Д.М. **Ефективні алгоритми розпараалелювання тридіагональних систем рівнянь** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.110 - 119.

Статтю присвячено розробці максимально паралельних форм математичних моделей, що мають тридіагональну структуру. Безпосередньо принципів особливості конструювання паралельних алгоритмів ілюструються на прикладі рішення задач Діріхле та Неймана методом прямих і методом прогонки для рівняння теплопровідності. Відзначається, що дослідження процесів тепло - і масообміну реалізується шляхом їх числового моделювання на основі застосування сучасних засобів багатопроцесорної обчислювальної техніки.

Бібл. 8.

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. **Улучшение полутоновых изображений в базисе ортогональных характеристик нечеткости типа_2** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.120 - 133.

Представлен алгоритм улучшения полутоновых изображений, который основан на процессе формирования многомерного ансамбля признаков на основе исходных данных с использованием нечеткости типа_2 с последующим применением ортогонального преобразования и визуализации характеристик, синтезируемых на основе собственных значений. Рассмотрены информационные возможности алгоритма при использовании различных методов ортогонализации: сингулярного разложения, преобразования Грамма-Шмидта и нечеткого метода главных компонент. Показано, что алгоритм позволяет учитывать неопределенность исходных данных, выполняет анизотропную фильтрацию в двумерной плоскости пространственных частот, что обеспечивает улучшение визуальных характеристик исходных изображений. Экспериментальные результаты приведены на примере реального оптического микроскопического изображения.

Библ. 9, рис. 7.

УДК 303.732.4

Быткин С.В., Критская Т.В. **Прогнозирование в среде MATHCAD роста сложности бортовой аппаратуры космических аппаратов при недостаточной радиационной стойкости элементной компонентной базы** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.134 - 143.

Экономические причины определяют рост требований к срокам активного функционирования космических аппаратов. Необходимо обеспечение срока их эксплуатации на геостационарной орбите $\square$ 15 лет, при реально достигаемой $\square$ 8. Обеспечение длительных сроков активного функционирования ограничиваются недостаточной радиационной стойкостью

электронной компонентной базы. На примере группировки Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), состоящей из 8 спутников, показано, что длительность работы аппаратов мониторинга окружающей среды в условиях протонного и электронного облучения существенно ниже ожидаемой. Основной практически важной задачей является поиск технологических решений для увеличения длительности функционирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов (БРЭА).

В среде MathCAD проведено моделирование и прогнозирование усложнения бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, что связывается с недостаточной радиационной стойкостью элементной компонентной базы.

Библ. 9, рис. 5.

УДК 622.232.72:004.942

Бубліков А.В., Прядко Н.С., Тернова К.В., Соснін К.В. **Ідентифікація режиму руйнування вугільного масиву виконавчим органом очисного комбайна** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.144 - 158.

Актуальність тематики даної роботи визначається необхідністю зменшення питомих енерговитрат на руйнування органом очисного комбайна вугільного масиву шляхом автоматизації процесу керування швидкістю обертання органу, що дозволить підтримувати енергоефективний режим різання різцями вугілля в умовах змінних гірничо-геологічних властивостей пласта. В роботі описано інформаційний критерій ідентифікації режимів руйнування органом вугільного пласта через статистичний аналіз активної потужності двигуна приводу різання, та проведені дослідження закономірності його зміни у часі для різних умов роботи комбайна. На основі цього ідентифікацію режимів руйнування органом вугільного пласта запропоновано здійснювати за допомогою переходу до відповідної лінгвістичної величини з використанням теорії нечіткої логіки. Обґрунтовані терми цієї лінгвістичної величини та визначені їх функції належності. Таким чином, створена база для подальшої розробки системи нечіткого автоматичного керування режимом руйнування органом вугільного пласта.

Бібл. 8., іл. 5.

УДК 517.958:519.63

Алексеев О.М., Бердник М.Г. **Математична модель і метод рішення узагальненої задачі Неймана теплообміну тіла півсферичної форми комбайна** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.159- 168.

Побудована математична модель розрахунку температурних полів в півсферичному тілі, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, яке обертається, у вигляді крайової задачі математичної фізики для гіперболічного рівняння теплопровідності. Побудоване інтегральне перетворення для двовимірного кінцевого простору, із застосуванням якого знайдено температурне поле у вигляді збіжних рядів по функціям Фур'є.

Бібл. 8, іл. 2.

УДК 004.93

Гавриленко О.В., Новіченко Н.В. **Дослідження оптимізаторів нейронної мережі для класифікації зображень будівель за архітектурним стилем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.169 - 179.

У статті розглянуто задачу класифікації зображень з тісними міжкласових взаємозв'язками – класифікація архітектурних стилів будівель, де велика кількість основних рис та ознак є спільною для декількох класів. Об'єктом дослідження є алгоритм навчання нейронної мережі для розпізнавання архітектурних стилів будівель. Запропоновано метод навчання нейронної мережі для класифікації архітектурних стилів будівель за зображеннями будівель, що за меншу кількість часу навчання досягає більшої точності. Запропонований алгоритм оптимізатору реалізовано програмно і проведено експерименти для порівняння ефективності алгоритму.

Бібл. 10, іл. 2.

УДК 004.89

Чернецький Я.С., Ліхоузова Т.А. **Додаток для проектування та аналізу плану будівлі згідно норм пожежної безпеки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.180 - 188.

Запропоновано систему для автоматизації перевірки споруд на пожежну безпеку на основі проектної документації. Головним недоліком усіх існуючих програм є їхня ціна, яка в силу невисокої конкуренції на ринку є досить великою для пересічної людини. Дана розробка є open-source програмою, отже кожен охочий зможе скористатися її функціоналом. На замовленню або створеному безпосередньо в програмі плані будинку програма виявляє та виділяє проблемні місця та надає пояснення щодо пункту правил та причин його невідповідності. В результаті роботи програми користувач може отримати звіт за результатами аналізу та 2D модель будинку, яку потім можна буде використовувати в інших програмах. Програмний додаток може використовуватись як на етапі проектування будівлі, так і на етапі прийняття в експлуатацію.

Бібл. 9, іл. 3, табл. 1

УДК 004.89

Островська К.Ю., Мінаєнко А.С. **Застосування нейромережних технологій для виявлення пневмонії по рентгенівським знімкам** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.189 - 195.

У роботі спроектовано та розроблено додаток для виявлення пневмонії по рентгенівським знімкам із застосуванням нейромережних технологій на мові Python. Для реалізації програми для розпізнавання пневмонії по рентгенівським знімкам, яке відноситься до задачі розпізнавання образів, буде застосована архітектура згорткових штучних нейронних мереж.

Бібл. 4.

Селівьорстова Т.В. **Комп'ютерна імітаційна модель технологічного процесу реалізації газодинамічного тиску на розплав при самогерметизації виливка** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (136). - Днепр, 2021. - С.196 - 208.

Стаття присвячена розробці комп'ютерної імітаційної моделі технологічного процесу реалізації газодинамічного тиску на розплав при самогерметизації виливка. Описаний процес розроблення імітаційної моделі даного технологічного процесу на прикладі сталевих злитків. Значну увагу приділено етапу оцінки параметрів здійснення технології, який включає математичне моделювання процесу затвердіння сталевих виливків, аналіз температурних полів для визначення часу герметизації та темпу подачі регульованого газового тиску під час затвердіння виливків. Інформаційна модель технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі для сталевих злитків представлена у вигляді таблиці, що містить опис порядку проведення даного технологічного процесу, зміст етапів та їхню тривалість. Описано процедуру реалізації розробленої імітаційної моделі у вигляді комп'ютерної моделі – ігрового екшен-додатку «Virtual Foundry». Представлений універсальний ігровий pipeline, який було реалізовано засобами графічного 3D моделювання з врахуванням сценарію взаємодії гравця з ігровим оточенням. Представлений інтерфейс графічного симулятора «Virtual Foundry», ігрові сцена та кадри 2D анімації. Відзначено наукову новизну розробленої інформаційної моделі технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі, реалізованої комп'ютерної імітаційної моделі у вигляді графічного симулятора «Virtual Foundry».

Бібл. 19.

UDC 621.878

Malich N.G., Usov O.A. **Modeling the local contact influence of friction characteristics on the strength of charge materials** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.3 – 21.

A mathematical model has been developed for the destruction of cubic rock samples in the presence of contact friction. The model corresponds to the available literature data, in particular, it takes into account the so-called. "Scale effect" and the effect of high sensitivity of the strength of samples to a change in the type of load - from uniaxial compression to compression with sliding. The main factors of the influence of external friction are the redistribution of normal stresses on the contact surface and the formation of transverse (horizontal) stresses inside the sample even under the action of only a longitudinal (vertical) external load.

A method, an algorithm and a program for calculating the maximum vertical stress at the tip of a developing crack, which is formed on the slip line, have been developed.

A method is proposed for calculating the ultimate strength of cubic samples of charge raw materials using three property indicators (material shear resistance limit, internal friction angle, contact friction coefficient), which by simple methods can be established experimentally in mining enterprises, where the calculation results can be quickly used for control disintegration processes.

This will allow in the future to optimize the technological parameters and designs of the existing crushing equipment to reduce energy consumption during disintegration in the mining and metallurgical industries.

Bibl. 8.

UDC 528.8

Kibukevych Iuliia **Comparative analysis of NDVI for optical and radar images** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.22 – 27.

In this work we compared NDVI for different time optical and radar images from Landsat-8, Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites and determined the dependence of winter wheat on precipitation. The study was carried out on plots with winter wheat. In this work we found the highest correlation between NDVI values obtained with the radar satellite Sentinel-1 and precipitation values. This research shown that satellite crop monitoring with radar imaging is more effective than optical imaging.

Bibl. 7, ill. 4.

UDC 004-93

Akhmetshina L. G., Mitrofanov S.K., Knysh A.V. **Improvement of grayscale images in the basis of singular decomposition characteristics** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.28 – 38.

The informational capabilities of the method for processing grayscale images aimed at increasing the sensitivity and reliability of their visual analysis are presented. The proposed algorithm is based on the process of multi-stage processing, including the expansion of the space of input features - the formation of a multidimensional ensemble based on the initial

data using windowing transformation, singular value decomposition, synthesis and visualization of new informative features. It is shown that the use of window processing for grayscale images allows you to go to a multidimensional space and apply multidimensional processing methods, namely, a singular transformation, on the basis of which it is possible to provide an increase in contrast, sensitivity and resolution of visual analysis. Experimental results are presented using real medical images as an example.

Ref. 9, fig. 3, tabl. 1.

UDC 681.5.042

Bezub V.M. **Features of using neuroregulator to control thermal metallurgical processes** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.39 – 45.

Features of using neuroregulators for control of thermal metallurgical processes are shown. Disclosed is a method of intensifying a neural network training algorithm.

Ref. 4, fig. 2.

UDC 621.771.23.09

Kutsova V.Z., Ivanchenko V.G., Kotova T.V., Kovzel M.A. **Influence of skin-rolling on the structure and properties of hot-rolled sheet steel for cold stamping** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.46 – 57.

We investigated the influence of skin-rolling on the structure and properties of hot-rolled steel strips and sheets for cold stamping. It has been established that skin-rolling of rolled steel made of 08кп steel and annealing at a temperature of 600-800°C provides the formation of properties and microstructure in accordance with ГОСТ 4041–2017.

It was found that to obtain the required combination of mechanical properties and microstructure in hot-rolled plate made of low-carbon boiling steel, it is necessary that the total degree of deformation before annealing exceeds the critical one.

We investigated the influence of tempering on the structure and mechanical properties of hot-rolled sheet steel. It has been established that in order to increase the ductility of hot-rolled strips and ensure the level of mechanical properties of the metal and structure in accordance with ГОСТ 4041–2017, it is advisable to skin-rolling stempering parameters to obtain high-quality sheet steel for cold stamping.

Bibl. 9, ill. 2, tabl. 2.

UDC 004.056.5

Klishch S., Guda A., Synytsina Yu., Mala Yu. **A practical approach to malware analysis** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.58 – 69.

The main types of malware are overviewed. Some of fundamental malware analysis methods are reviewed. A set of links with tools that can be used for a detailed assessment of malicious sample behavior is presented. A list of preconfigured virtual machines for forensics is provided. The basics of malware behavior analysis are reviewed.

Ref. 4, pic.3, tabl.3.

UDC 004.9; 004.65

Hnatushenko Vik.V., Rudenko V.P., Tsaryk V.U. **Design of IT business model based on serverless services** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.70 – 80.

Analysis of existing cloud services, which provide the ability to create serverless services for system design and storage, provide cybersecurity for network applications. A system has been developed using AWS (Amazon Web Services), which is designed to develop, design and modernize modern "local" business models to improve efficiency and save resources.

Bibl. 5, il. 3

UDC 519.2:004.9

Kirichenko L.O., Stepanenko Y.D., Yandukov D.Y. **Time series classification using recurrence charts** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.81 – 87.

The article describes a new approach to the classification of time series based on their recurrence plots. A convolutional neural network is used as an image classifier. The data for classification are the realizations of electrocardiograms. Research results indicate good classification accuracy compared to other methods and the potential of this approach.

Ref.10, fig. 3, tab.1.

UDC 621.818.23

Tsvirkun L.I., Tkachenko L.I., Beshta L.V. **Algorithms for Energy Efficient Use of Mine Drainage Plants Using the Peak Peak Method** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.88 – 97.

The article notes that one of the most energy-intensive technological processes in underground mining is pumping water to the surface. The results of the analysis of the application of methods for controlling the pumping units of a coal mine while observing the method of peak switching in accordance with the load schedule of the power system. It is shown that the three-point control method makes it possible to distribute the pumping process during the day so that the resulting cash costs are minimal.

Bibl. 7, fig. 3.

UDC 004.67:519.25

Baturinets A., Antonenko S. **Search similar hydrological data series using correlation coefficients** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.98 – 109.

Presented and described the component of the software for definition of the similar data series presented by certain samples. The computational scheme is based on the use of Spearman and Pearson correlation coefficients and estimates used in regression analysis. Presented the results of the computational experiment on hydrological data series, which are represented by water level samples.

Ref. 10, ill. 4, table 3.

UDK 004.032.24

Shvachych G.G., Vozna N.J., Ivashchenko E.V., Bilyi O.P., Moroz D.M. **Efficient algorithms for parallelizing tridiagonal systems of equations** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.110 – 119.

The article is devoted to the development of the maximal parallel forms of mathematical models with a tridiagonal structure. The example of solving the Dirichlet and Neumann problems by the method of straight lines and the sweep method for the heat equation illustrates the direct fundamental features of constructing parallel algorithms. It is noted that the study of the heat and mass transfer processes is run through their numerical modeling based on modern computer technology.

Bibl. 8.

UDK 004-93

Akhmetshina L.G., Yegorov A.A. **Improvement of grayscale images in the basis of orthogonal transformations of fuzzy sets type_2 characteristics** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.120 – 133.

The algorithm of grayscale images improving is presented, which is based on the process of forming a multidimensional ensemble of features based on initial data using fuzzy sets type_2, followed by the usage of orthogonal transformation and visualization of characteristics synthesized based on eigenvalues. The informational capabilities of the algorithm are considered when using various orthogonalization methods: singular value decomposition, Gramm-Schmidt transformation and fuzzy principal component method. It is shown that the algorithm allows taking into account the uncertainty of the initial data, performs anisotropic filtering in the two-dimensional plane of spatial frequencies, which provides an improvement of the initial images visual characteristics. Experimental results on the example of processing a real optical microscopic image are shown.

Ref. 9, fig. 7.

UDC 303.732.4

Bytkin S.V., Kritskaya T.V. **Forecasting in the MATHCAD environment of the increasing complexity of the on-board equipment of space vehicles with insufficient radiation resistance of the elementary component base** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.134 – 143.

Economic reasons determine the growth of requirements for the terms of active operation of spacecraft. It is necessary to ensure their service life in the geostationary orbit $\square$ 15 years, with the actually attainable $\square$ 8. Provision of long periods of active functioning is limited by insufficient radiation resistance of the electronic component base. Using the example of the Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) constellation, which consists of 8 satellites, it is shown that the duration of operation of environmental monitoring devices under conditions of proton and electron irradiation is significantly lower than expected.

In the MathCAD environment, modeling and forecasting of the complication of the on-board radio-electronic equipment of space vehicles was carried out, which is associated with insufficient radiation resistance of the elementary component base. It is proposed to introduce effective technologies for increasing the radiation resistance of active npn IC structures

based on silicon single crystals doped with germanium (CZ-Si <P, Ge>) into the technology of manufacturing on-board electronic equipment.

Bibl. 9, ill. 5.

UDK 622.232.72:004.942

Bublikov A.V., Pryadko N.S., Ternova K.V., Sosnin K.V. **The identification of mode of coal seam cutting by shearer's drum** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.144 - 158.

The relevance of this work theme is determined by the need to reduce the specific energy consumption for the destruction of the coal seam by the shearer's drum by automating the process of controlling the rotation speed of the drum, which allows to maintain an energy-efficient mode of coal cutting with cutters under conditions of changing of seam mining and geological properties. In the paper the information criterion for identifying the modes of destruction of a coal seam by a drum through a statistical analysis of the active power of the cutting drive engine is described. Also, the regularities of change over time of this criterion for various operating conditions of the combine are investigated. On the basis of this, it is proposed to identify the modes of destruction of a coal seam by a drum by means of a transition to the corresponding linguistic value using the theory of fuzzy logic. The terms of this linguistic value have been substantiated, and their membership functions have been determined. Thus, a basis has been created for the further development of fuzzy automatic control system of the destruction mode of a coal seam by a shearer's drum.

Bibl. 8, ill. 5.

UDK 517.958:519.63

Berdnyk M.H., Aleksieiev O.M. **Mathematical model and method for solving the generalized Neumann problem of heat exchange of a hemispherical body** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.159 - 168.

A mathematical model for calculating temperature fields in a hemispherical body is constructed, taking into account the finite velocity of rotating heat propagation, in the form of a boundary value problem of mathematical physics for the hyperbolic equation of thermal conductivity. An integral transformation is constructed for a two-dimensional finite space, using which the temperature field is found in the form of convergent series by Fourier functions.

Bibl. 8, ill. 2.

UDC 004.93

Gavrylenko O.V., Novichenko N.V. **Neural network optimizers for buildings architectural style classification task** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.169 - 179.

The article considers the problem of image classification with close interclass relationships - the classification of architectural styles of buildings, where a large number of basic features and characteristics are common to several classes. The object of research is a neural network learning algorithm for recognizing architectural styles of buildings. Proposed method of neural network training achieves higher accuracy in less time. The optimizer algorithm was implemented, and tests were performed to compare the efficiency of the algorithm.

Bible 10, ill. 2.

UDC 004.89

Chernetskyi Y. S., Likhousova T. A. **Design and analysis of the building plan according to fire safety standards** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.180 - 188.

Hundreds of fires occur in residential and non-residential premises in Ukraine every day. Each of them to one degree or another damages the building itself, causes material damage, and poses a threat to human life. The consequences of a fire are often exacerbated by non-compliance with fire safety regulations, which could be avoided by following a few simple requirements. A fire can occur due to a large number of different circumstances that are impossible to predict, but you can prepare means to combat it.

The purpose of the work is to increase fire safety at the design stage of buildings. The proposed software application is designed to help those responsible for fire safety to check the basic parameters of the building and their compliance with fire safety standards on the basis of project documentation.

Because fire safety is a very important part of any infrastructure, many different applications have been developed to help people design, inspect buildings for fire safety, and simulate emergencies. all such programs can be divided into several groups by functional purpose: fire simulation; programs for creating a building plan; programs for architects. The main disadvantage of all existing programs is their price, which due to low competition in the market is quite high for the average person. Only FDS is completely free, but it is only a computing core that cannot function on its own, but will need to interact with paid modules.

The proposed development is an open-source program, so everyone will be able to use its functionality. On the plan of the house loaded or created directly in the program, the program identifies and identifies problem areas and provides explanations on the point of the rules and the reasons for its inconsistency. As a result of the program, the user can receive a report on the results of the analysis and a 2D model of the house, which can then be used in other programs.

The software application can be used both at the design stage of the building and at the commissioning stage.

Ref. 9, pic. 3, tabl. 1

UDC 004.89

Ostrovskaya K.Yu., Minaenko A. **Application of neural network technologies to detect pneumonia by X-ray** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.189 - 195.

The work is devoted to the development of an application for detecting pneumonia from X-ray images using neural network technologies in the Python language.

The aim of the work is to develop a program for detecting pneumonia by X-ray images using neural network technologies.

A neural network for the classification of R-NT images was developed and trained, and an application for pneumonia recognition by X-ray images based on neural network technologies was implemented using the Python 3.7 programming language, JetBrains PyCharm Com-

munity Edition 2019.2.2 environment and Keras 2.3 libraries. .1, Numpy 1.16.4 and PyQt5 to implement the interface.

Ref. 4.

UDC 004.92

Selivyorstova T. **Computer simulation model of the technological process of realizing gas-dynamic pressure on the melt during self-sealing of the casting** // System technologies. N 5(136) - Dnipro, 2021.- P.196 - 208.

The article is devoted to the development of a computer simulation model of the realizing gas-dynamic pressure technological process on the melt during self-sealing of a casting. The process of developing a simulation model of this technological process is described on the example of a steel ingot.

Considerable attention is paid to the stage of evaluating the parameters of the technology implementation, which includes mathematical modeling of the steel ingot solidification process, analysis of temperature fields to determine the sealing time and the rate of controlled gas pressure supply during the solidification of the casting.

The information model of the gas-dynamic action technological process on the melt in a casting mold for a steel ingot is presented in the form of a table containing a description of the procedure for carrying out this technological process, the content of the stages and their duration. This information model contains the following stages: assessment of technology implementation parameters, pouring melt, gas supply device introduction, casting sealing, supply of regulated gas pressure during the solidification of the casting, pipeline removal.

The procedure for the implementation of the developed simulation model in the form of a computer model - a game "Virtual Foundry" application is described. A universal game pipeline is presented, implemented by means of graphical 3D modeling, taking into account the scenario of the player's interaction with the game environment. The interface of the Virtual Foundry graphic simulator, the game scene and 2D animation frames are presented.

The scientific novelty of the technological process of gas-dynamic influence developed information model on the melt in a casting mold, implemented by a computer simulation model in the form of a graphic simulator "Virtual Foundry" is noted.

Ref. 19.