

О.П. Морозенко, І.В. Вишневський

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ФОРМИ ЛІНІЇ ПЕРЕТИНУ ЦИЛІНДРА ПЛОЩИНОЮ ПРИ РОЗГОРТАННІ

Анотація. В статті проаналізовано зміну форми лінії перетину прямого кругового циліндра площиною при розгортанні. Показано, що в загальному випадку лінія перетину піддається вигину і скручуванню. Розроблено методику і приведені результати розрахунку параметрів скручування і вигину. Ці параметри перемінні по довжині розгортки і залежать від кута нахилу січної площини. Показана також залежність величини вигину та інтенсивності скручування в даній точці лінії перетину від положення дотичної стосовно миттєвої осі розгортання. Ключові слова: кут скручування, величина вигину, розгорнення, синусоїда.

Вступ

Багато технічних конструкцій виготовлені з гнутого листового матеріалу. Технічні розгортки виробів, що містять циліндричні і конічні поверхні, використовують при виготовленні воздуховодів для промислової вентиляції і пневматичного транспорту. Це розгортки циліндричних відведень колін трубопроводів, розгалужень трубопроводів, водостічних труб, фасонних частин пиле- і стружкоулавлювачів та інші.

При складанні і оформленні робочих креслень розгорток необхідно враховувати особливості листового матеріалу, розміри листів, їх товщини, технологічні вимоги при відтворенні розгортки в просторову форму [1]. Також треба враховувати, що в реальних технологічних процесах, які пов'язані з розгорткою або навивкою, профіль підвергається деформації вигину та скручування.

Постановка задачі

Розглядаючи просторову криву лінію як траєкторію точки, що рухається, можна аналізувати зміну форми цієї лінії по її довжині. Параметрами цієї зміни є перша кривизна і кривизна крутіння. Кри-

визна крутіння при цьому характеризує швидкість відходу кривої лінії від дотичної площини [2].

Однак зазначених параметрів недостатньо для аналізу деформації круглого, квадратного чи іншого профілю при виготовленні деталей шляхом навивки та згортання. Тут поряд з деформацією вигину (характеризуємою зміною першої кривизни) має місце деформація скручування (яка не є кривизною крутіння).

Зміна форми будь-якої лінії без зміни її довжини є результатом двох рухів: скручування та вигину. Плоска лінія при вигині залишається плоскою. Скручування в загальному випадку перетворює плоску лінію в просторову.

Оцінюючи зміну радіуса кривизни і кута скручування по довжині лінії (профілю), можна судити про величину деформації профілю.

Виконаємо такий аналіз методами нарисної геометрії на прикладі розгортання усіченого прямого кругового циліндра.

Методика рішення задачі

При розгортанні циліндра, розсіченого площиною, що складає з горизонтальною площиною проєкцій кут γ , лінія еліпса перетворюється в синусоїду. При цьому в кожній точці еліпса відбувається скручування і вигин по довжині розгорнення.

Приймемо наступну схему розрахунку. Введемо прямокутну систему координат з початком у точці I, що відповідає початку розгортання. Для кожної розрахункової точки еліпса і відповідних точок на розгортці визначимо радіус кривизни. Порівнюючи вихідний на еліпсі й отриманий на розгортці радіус кривизни, можна оцінити величину вигину лінії перетину.

Для визначення скручування введемо допоміжні вектори $\bar{S}$, рівні один одному і проведені з кожної розрахункової точки еліпса перпендикулярно площині перетину. Будемо вважати, що вектори закріплені до поверхні циліндра й у процесі розгортання їхнє положення щодо відповідних дотичних площин не міняється. Після розгортання вектори $\bar{S}$ не лежать у площині розгорнення і ординати їхніх кінців визначають величину кута скручування. Лінія перетину на розгортці випрямлена шляхом плоскопаралельного переміщення на вісь Oх і показана в аксонометрії [3]. Кут β є кутом скручування.

Помітимо, що у випадку розгортання еліпса в його власній площині він перетворюється в пряму лінію при відсутності скручування. Вектори $\bar{S}$ знаходяться в одній площині.

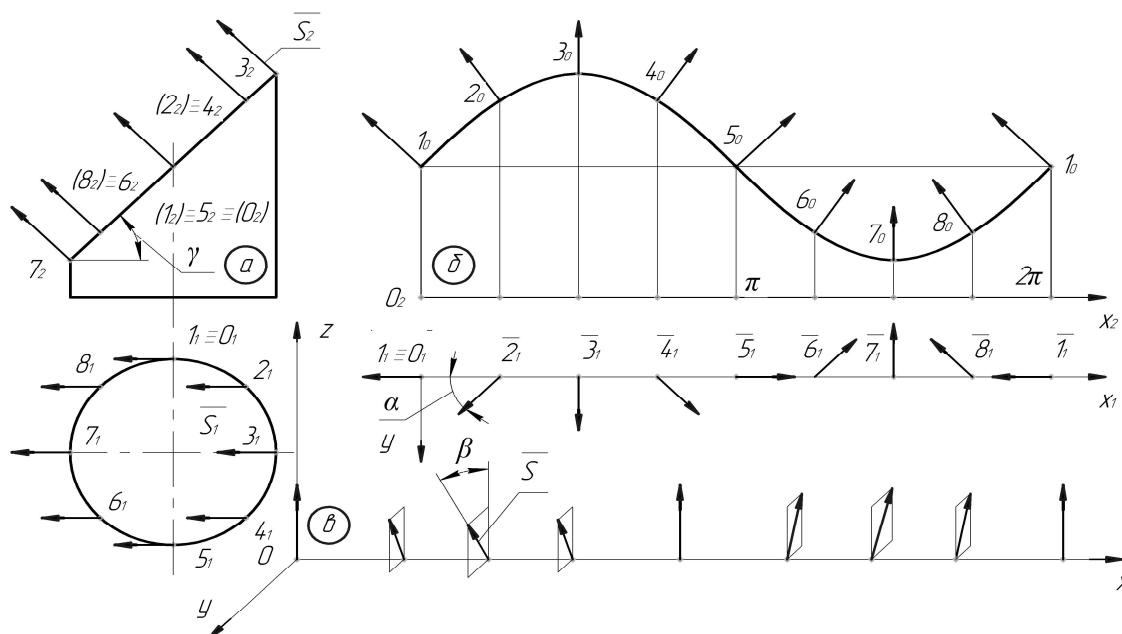


Рисунок 1 - Розгортка розсіченого циліндра

Радіуси кривизни лінії перетину в розрахункових точках на циліндрі і розгортці визначаємо приблизно, як радіуси кіл, що проходять через три суміжні розрахункові точки. Для цього попередньо визначаємо координати розрахункових точок.

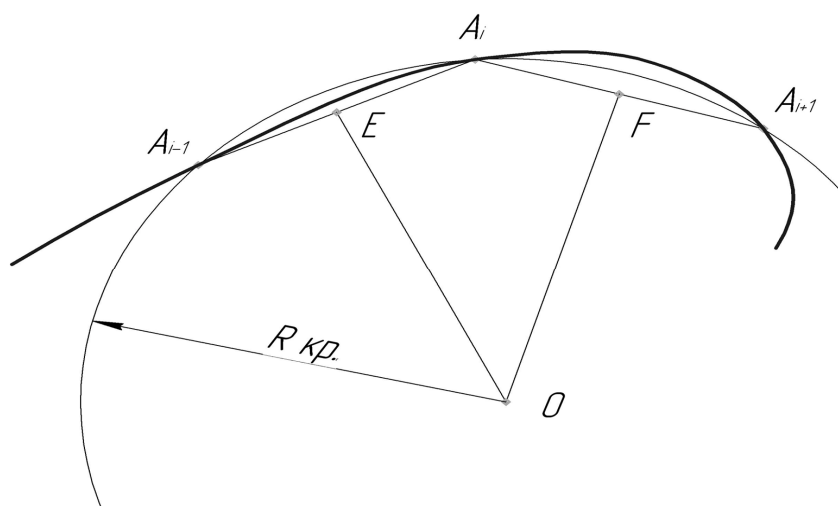


Рисунок 2 - Визначення радіусів кривизни лінії перетину.

Алгоритм розрахунку кута скручування

Координати розрахункових точок на циліндрі

$$XA_i = R \cdot \sin \alpha_i \quad XBi = XA_i - S \cdot \sin \gamma$$

$$YA_i = R (1 - \cos \alpha_i) \quad YBi = YA_i$$

$$ZA_i = Z_n + XA_i \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad ZBi = ZA_i + S \cdot \cos \gamma$$

Координати розрахункових точок на розгортці

$$X1A_i = R \cdot \alpha_i \quad X1Bi = X1A_i - S \cdot \sin \gamma \cdot \cos \alpha_i$$

$$Y1A_i = 0 \quad Y1Bi = S \cdot \sin \gamma \cdot \sin \alpha_i$$

$$Z1A_i = ZA_i \quad Z1Bi = ZBi$$

Кут скручування виражається формулою

$$\beta = \arccos \frac{Y1Bi}{S}, \quad (1)$$

де R – радіус основи циліндра;

γ – кут нахилу січної площини;

α_i – поточний кут розгортання;

A, B – точки, що відповідають початку і кінцю вектора $\vec{S}$;

XA_i, YA_i, ZA_i – координати точки A на циліндрі;

XBi, YBi, ZBi – координати точки B на циліндрі;

$X1A_i, Y1A_i, Z1A_i$ – координати точки A на розгортці;

$X1Bi, Y1Bi, Z1Bi$ – координати точки B на циліндрі.

Визначення радіуса кривизни в розрахункових точках на циліндрі

Координати точок еліпса в допоміжній системі координат (у площині еліпса)

$$X2A_i = \frac{XA_i}{\cos \gamma}; \quad Y2A_i = YA_i.$$

Координати точок на серединах суміжних хорд (рис. 2).

$$XE_i = \frac{XA(i-1) + XA_i}{2}; \quad YE_i = \frac{YA(i-1) + YA_i}{2};$$

$$XF_i = \frac{XA_i + XA(i+1)}{2}; \quad YF_i = \frac{YA_i + YA(i+1)}{2}.$$

Кутові коефіцієнти суміжних хорд

$$Q1_i = \frac{Y2A_i - Y2A(i-1)}{X2A_i - X2A(i-1)}; \quad Q2_i = \frac{Y2A(i+1) - Y2A_i}{X2A(i+1) - X2A_i}.$$

Координати центра кола, що проходить через три суміжні точ-

ки

$$X_{O_i} = \frac{\frac{X_{E_i}}{Q_{1i}} - \frac{X_{F_i}}{Q_{2i}} + Y_{E_i} - Y_{F_i}}{\frac{1}{Q_{1i}} - \frac{1}{Q_{2i}}}; \quad Y_{O_i} = -\frac{1}{Q_{1i}} (X_{O_i} - X_{E_i}) + X_{E_i}.$$

Радіус кривизни в розрахункових точках еліпса виражається формулою

$$R_{кр.i} = \sqrt{(X_{A_i} - X_{O_i})^2 + (Y_{A_i} - Y_{O_i})^2}, \quad (2)$$

де X_{2A_i} , Y_{2A_i} - координати точок еліпса в площині еліпса;

Z_n - апліката першої розрахункової точки (вибирається довільно).

Аналіз скручування лінії перетину

Результати розрахунків представлені на рис. 3. Прийняті наступні вихідні дані: γ - 10° , 40° , 70° ; $Z_n = 75$ мм; $R = 50$ мм; $S = 50$ мм.

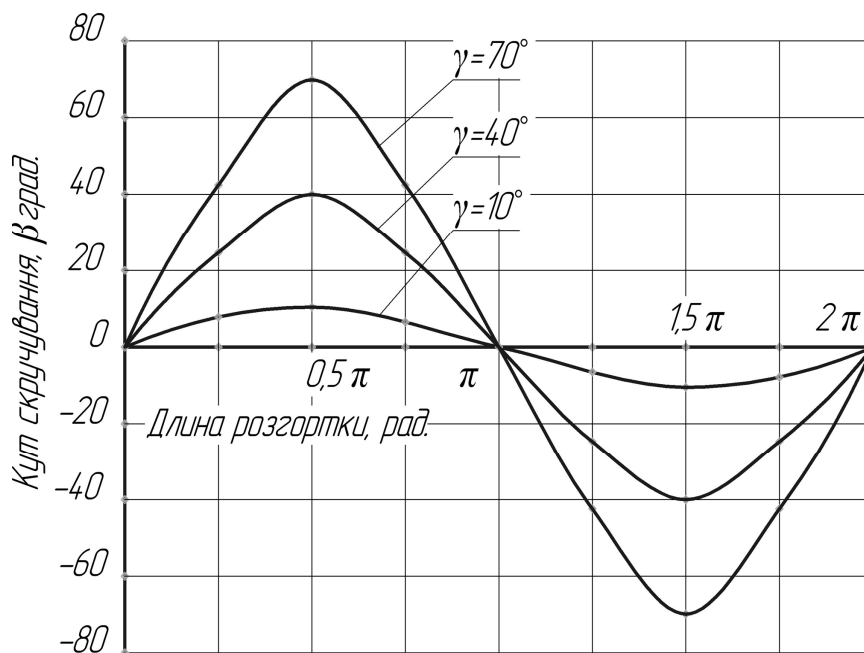


Рисунок 3 - Зміна кута скручування по довжині розгортки

По довжині розгортки інтенсивність і напрямок скручування міняються в такий спосіб. У початковій точці, що відповідає максимальному куту нахилу дотичної до еліпса, скручування позитивне і має максимальну інтенсивність. Далі інтенсивність скручування загасає і на довжині розгортки $0,5\pi$ стає рівною нулю, а кут скручування досягає максимального значення, рівного куту нахилу січної площини.

При подальшому розгортанні напрямок скручування міняється на протилежне, а інтенсивність скручування росте до максимуму в точці, що відповідає довжині розгортки π . Кут скручування стає рівним нулю. На другій половині розгортки характер скручування аналогічний, але значення кута скручування негативні.

Аналіз вигину лінії перетину

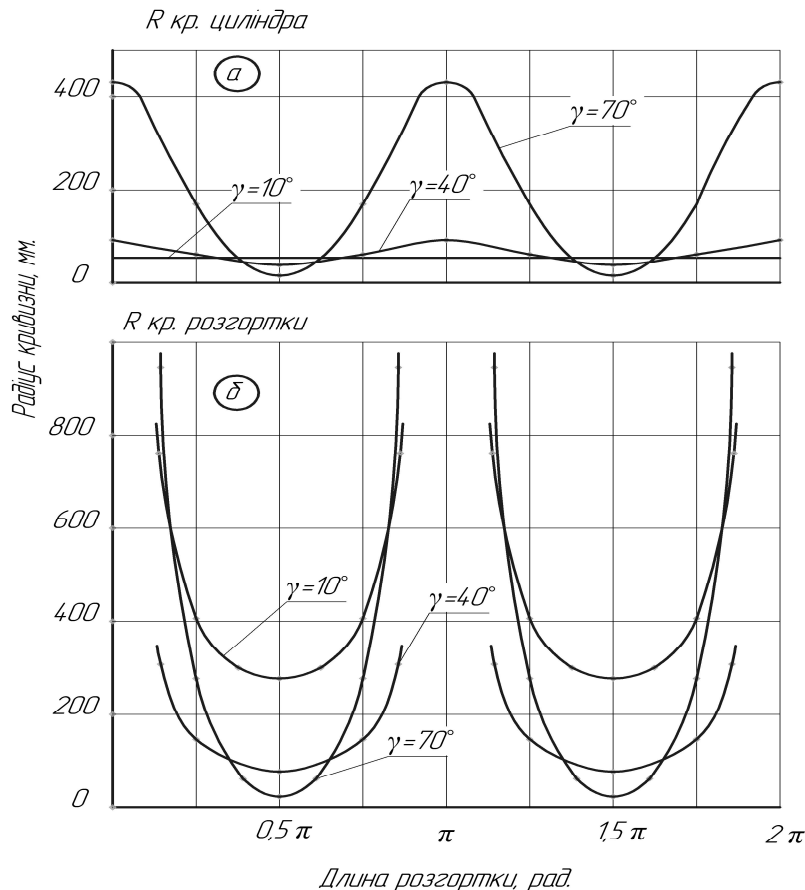


Рисунок 4 - Залежність радіусу кривизни від довжини розгортки

Зміна радіуса кривизни лінії перетину на циліндрі по його периметру має безперервний коливальний характер. Дві вершини і дві западини відповідають більшій і меншій осям еліпса (рис. 4, а). Зі зменшенням нахилу січної площини амплітуда коливань знижується, а для нормального перетину вона дорівнює нулю.

Після розгортання безперервний графік розпадається на два однакових (рис. 4, б). Максимальні і мінімальні значення радіусів кривизни на циліндрі і на розгортці відповідають тим самим точкам. Максимальні значення на розгортці стають рівними нескінченності.

Висновки

Розроблено методику аналізу зміни форми лінії перетину циліндра площиною при його розгортанні. Показано, що в загальному випадку лінія перетину при розгортанні піддається вигину і скручуванню.

Скручування змінно і змінює напрямок по довжині розгортки. Максимальний кут скручування дорівнює куту нахилу січної площини. Інтенсивність скручування пропорційна куту нахилу дотичної у точці лінії перетину на циліндрі. При рівності цього кута нулю (у цьому випадку дотична перпендикулярна до миттєвої осі обертання при розгортанні) скручування відсутнє.

Величина вигину обернено пропорційна куту нахилу дотичної до лінії перетину на циліндрі. При рівності цього кута нулю (відповідає нормальному перетину циліндра) має місце максимальний вигин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайленко В.Є. Інженерна графіка: Підручник /В.Є.Михайленко, В.В. Ванін, С.М. Ковальов. –К: Каравела, 2008. – 272 с.
2. Бубенников А.В. Начертательная геометрия: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / А.В.Бубенников. – М.: Высшая школа, 1985. – 288 с.
3. Кириченко А.Ф. Теоретичні основи інженерної графіки: Підручник для вищих технічних навчальних закладів. /А.Ф. Кириченко. –Київ: ВД “Професіонал”, 2004. – 496 с.

Р.Н. Хрестин

ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Проанализировано поведение полной модели дуговой сталеплавильной печи в качестве объекта управления. Сформулированы идеальные условия процесса плавки и возможные отклонения от них реального процесса. Проведен анализ поведения этой модели при условиях идеальных и приближенных к реальному процессу. Модель может быть использована для построения моделей привода перемещения электродов и создания системы автоматического управления этим приводом. В свою очередь, моделирование режимов привода перемещения электродов позволяет моделировать режимы плавки печи. Таким образом, предложенная модель позволяет адекватно оценить возможности управления всеми процессами печи. Построена модель системы управления, основанная на простейшем автоматическом ПИ-регуляторе. Анализ полученной системы управления показал, что использование простейшего регулятора не обеспечивает качественного управления. Поэтому требуется разработка более совершенного регулятора.

Ключевые слова: ток дуги, параметры плавки, привод перемещения электрода, алгоритм управления, автоматический регулятор.

Постановка проблемы. Обеспечить максимально возможные скорость и точность протекания основных процессов дуговой сталеплавильной печи (ДСП) возможно за счет автоматического регулирования параметров процесса плавки. Регулировка осуществляется с помощью изменения расстояния между электродом и шихтой (длины электрической дуги). Вследствие изменения длины меняется величина тока дуги, от которой зависят основные параметры плавки. Разработка качественных алгоритмов управления током дуги и другими параметрами плавильного процесса (прежде всего, в энергетический период плавки) является перспективной задачей.

Анализ исследований и публикаций. В качестве электрооборудования, управляющего режимом действия ДСП, используют привод

перемещения электродов [1]. Управление должно осуществляться таким образом, чтобы действие привода не только обеспечивало качественный технологический процесс и наименьшие затраты энергии при его протекании. Необходимо также обеспечение безаварийного действия оборудования ДСП и минимальных затрат материальных ресурсов. Последнее, прежде всего, касается исключения ситуаций слома и скалывания электродов, так как расход материала электрода составляет, по меньшей мере, 10% стоимости полученной стали. При этом аварийные расходы, которых можно избежать, составляют 10-20% от общих расходов электродов [2].

Цель работы. Целью данной работы является анализ возможностей построения алгоритмов управления режимами плавки ДСП в условиях, приближенных к реальным режимам работы. Анализ проводится с помощью полной математической модели ДСП – об (рис.1). Такие алгоритмы должна реализовывать модель автоматического регулятора привода перемещения электродов.

Основная часть. Контроль режима плавки осуществляется не только по энергетическим параметрам процесса. Обеспечивается также контроль параметров привода перемещения электродов (скорость перемещения электрода V_h и длина дугового промежутка d) и параметров дуги (постоянная времени дуги $2t_0$, температура T_d и ток дуги i_d). Именно по току дуги можно регулировать режим ДСП, поскольку точное определение непосредственных параметров плавки (температура T_h и энергия шихты Q_h) является сложным, а иногда и невозможным. В работах [3,4] приведены результаты модельных экспериментов отдельных частей полной модели ДСП. При проведении модельных экспериментов с полной моделью ДСП принимаем исходные допущения, которые назовем идеальными условиями плавки.

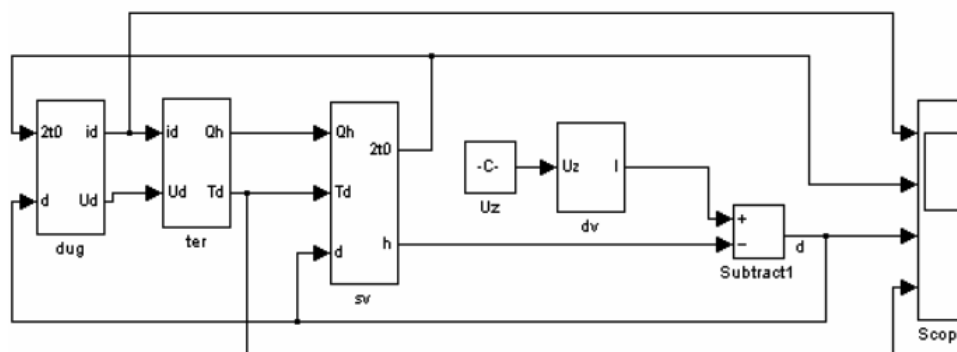


Рисунок 1 - Блок-схема полной модели ДСП – объекта управления(ob)

Идеальными условиями плавки считаются следующие: завалка шихты абсолютно однородна, режим действия привода перемещения электродов не испытывает случайных изменений; химический состав дугового промежутка неизменен в течение всего рассматриваемого периода плавки и т. п. При использовании в модельных экспериментах полной модели ДСП (об) подбирается неизменное значение напряжения питания якоря двигателя U_z (моделируется идеальное действие привода перемещения электрода при идеальных условиях плавки). Это напряжение определяет скорость перемещения электрода, равную скорости проплавления шихты под ним. В этом случае длина дуги $d=15$ мм остается неизменной (рис.2а) в течение всего рассматриваемого периода плавки. Это идеальный режим плавки: ток дуги i_d (рис.2б), температура дуги T_d (рис.2в) и постоянная времени дуги $2t_0$ (рис.2г) изменяются в номинальных пределах, а их динамика соответствует изменениям, которые имеют место при идеальных условиях плавки. При моделировании одиночного скачка длины дуги d и ее дальнейшего восстановления (моделируется идеальная реакция регулятора привода перемещения электрода на изменение длины дуги, которое происходит в результате неоднородной завалки шихты) режим плавки полностью восстанавливается (рис.3). Такой режим плавки назовем номинальным.

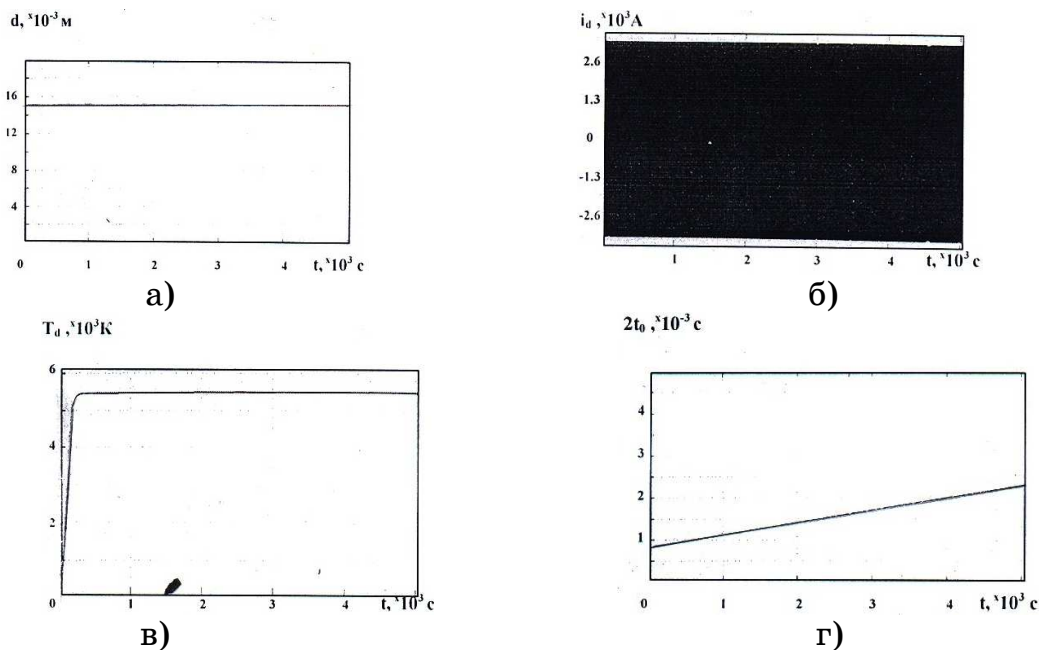


Рисунок 2 - Осциллограммы действия модели при идеальных условиях плавки: а – длина дуги d , б – ток дуги i_d , в – температура дуги T_d , г – постоянная времени дуги $2t_0$

Однако, на практике, в энергетический период плавки длина дуги может изменяться скачкообразно и это происходит через каждые 15-20 секунд[5]. Это негативно влияет на прочность электрода, уменьшая срок его эксплуатации. С целью исключения подобных негативных явлений была предпринята попытка использовать простейший пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор привода перемещения электродов для управления ДСП. Модель предложенной системы управления показана на рисунке 4. Модельные эксперименты показали, что, даже при тщательном подборе параметров простейшего регулятора, не обеспечивается даже приближенный к номинальному режим плавки.

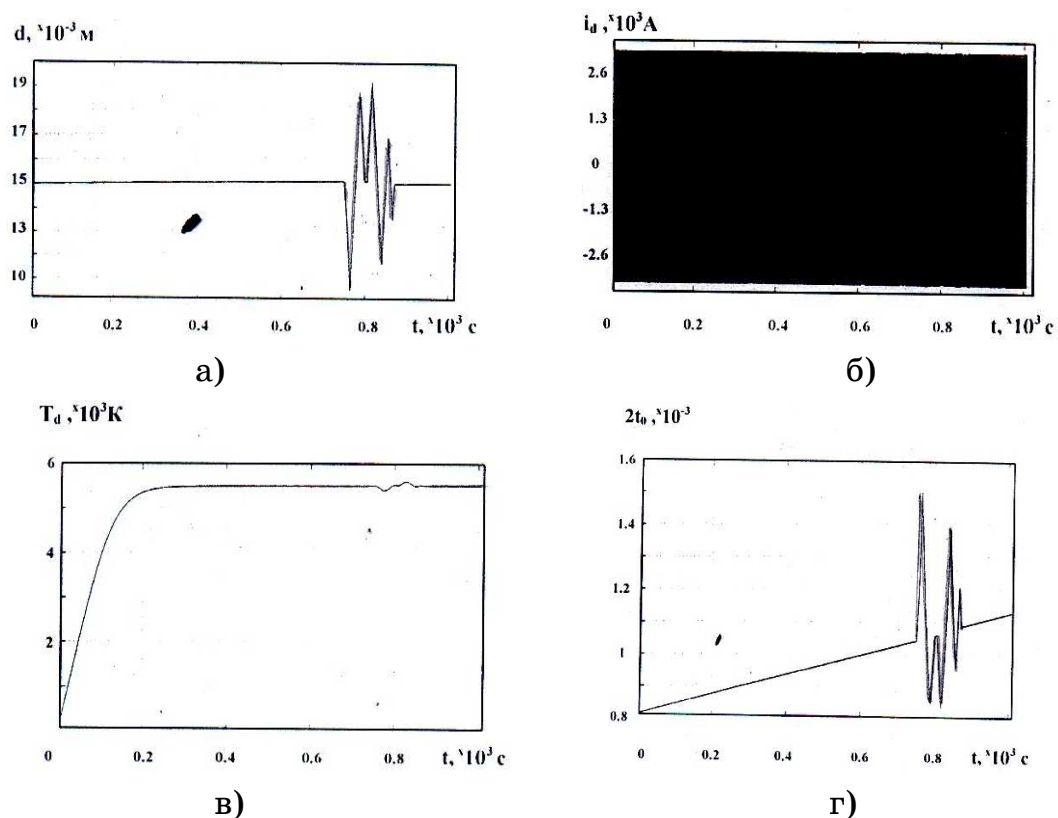


Рисунок 3 - Осциллограммы действия модели при номинальных условиях плавки: а – длина дуги d , б – ток дуги i_d , в – температура дуги T_d , г – постоянная времени дуги $2t_0$

Так, длина дуги испытывает значительные колебания в течение всего рассматриваемого периода плавки и не стабилизируется (рис.5а). Как следствие, значительно колеблются температура и со-

став(описывается постоянной времени дуги) дуги (рис.5в,г), ток дуги (рис.5б).

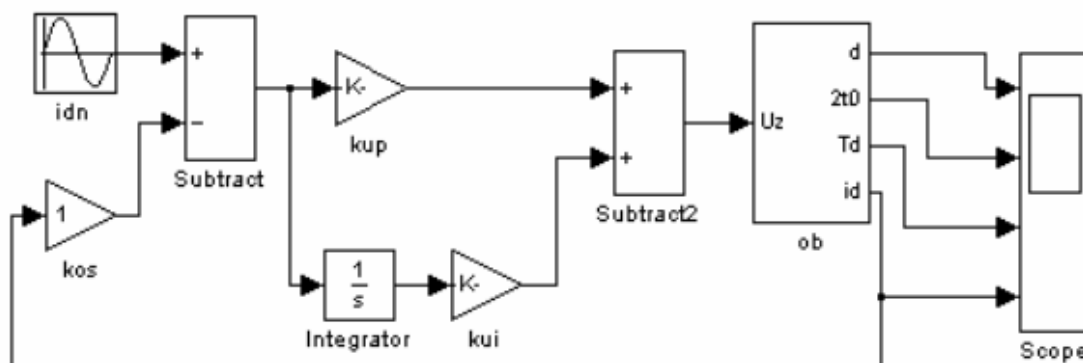


Рисунок 4 - Блок-схема системы управления с простейшим ПИ-регулятором

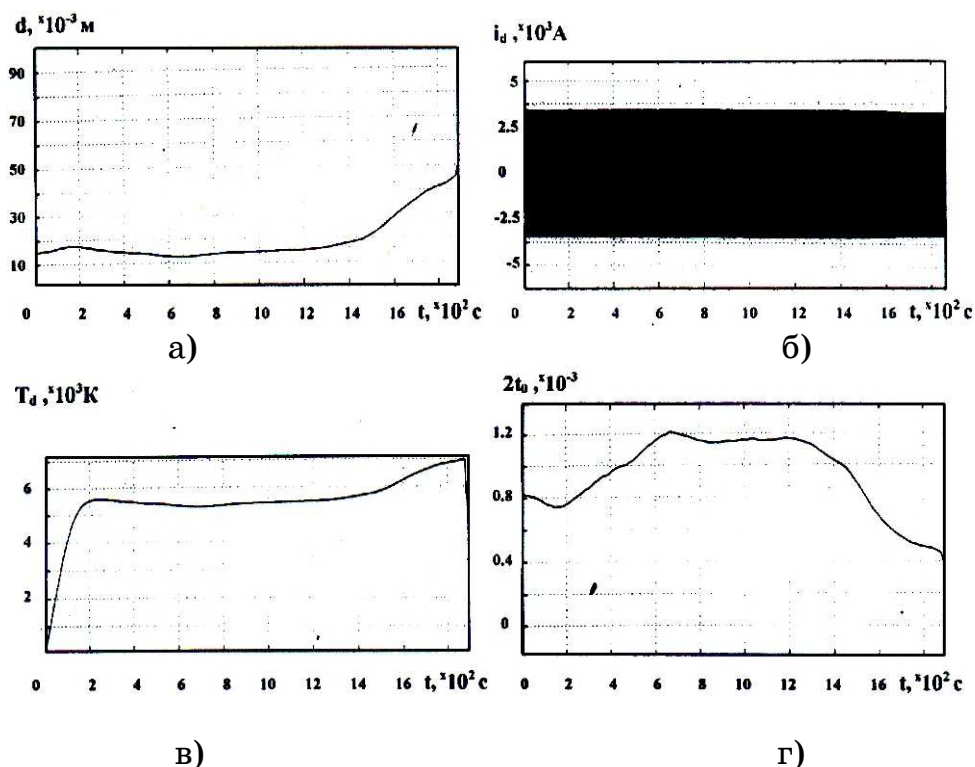


Рисунок 5 - Осциллограммы действия системы управления:
а – длина дуги d , б – ток дуги i_d ,
в – температура дуги T_d , г – постоянная времени дуги $2t_0$

Как следствие, имеют место колебания всех зависящих от них параметров плавки. Таким образом, очевидна необходимость построения автоматического регулятора, который реализовал бы более совершенный алгоритм управления приводом перемещения электрода ДСП.

Выводы. Описаны идеальные условия плавки и отклонения от них, которые имеют место при работе реальных ДСП. Описание сделано на основе экспериментов с печью ДСП-5М, действующей в условиях ООО «ПНЦ НПО Трубосталь». Проанализированы режимы действия полной модели ДСП при идеальных условиях плавки и при нарушениях режима, соответствующих реальным условиям плавки. Приведены осциллограммы, которые показывают характер изменений контролируемых параметров модели, соответствующих номинальному режиму плавки. Модельный эксперимент показал адекватность полной модели ДСП.

Построена блок-схема модели системы управления ДСП на базе простейшего ПИ-регулятора. С помощью построенной блок-схемы проанализирован характер изменения параметров, по которым контролируется и регулируется процесс плавки ДСП: длины дугового промежутка, постоянной времени дуги, температуры и тока дуги. Характер изменений этих параметров, даже при идеальных условиях плавки, показал невозможность использования простых автоматических регуляторов, учитывая разнообразие характеров регулируемых процессов и сложность взаимных влияний между этими процессами. Этот результат указывает на необходимость продолжения работ в направлении синтеза более совершенных алгоритмов управления. Такие алгоритмы управления приводом перемещения электрода, должны обеспечивать предупреждения аварийных режимов (и близких к ним) и, за счет этого, уменьшать затраты электрода и сокращать время аварийных простоев ДСП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мастрюков Б.С. Расчеты металлургических печей – М.: Металлургия, 1986. – 376 с.
2. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. – М.: Металлургия, 1985. – 280 с.
3. Хрестін Р.М. Моделювання електричних параметрів дуги дугової сталеплавильної печі// Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 40-43.
4. Хрестін Р.М. Розроблення структури математичної моделі енергетичного балансу дугової сталеплавильної печі // Технічні науки та технології. – 2015. – № 1. – С. 37-43.
5. Салтыков А.В. Автокорреляционные функции тока дуговой сталеплавильной печи на технологических этапах// Электротехника. – 2008. – № 8. – С. 50-52.

V.I. Shynkarenko, T.M. Vasetska, E.Y. Boiko

REDUCING THE NUMBER OF EXPERT JUDGMENTS IN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS BY SORTING AND SURVEY MANAGEMENT

Annotation. Modification of the classical method of analytic the hierarchy process with elements of sorting for the ranking a large number of alternatives in multicriterial choice problems was developed. The ways to achieve the best consistency of the matrix of pairwise comparisons of alternatives were proposed.

Keywords: analytic hierarchy process, consistency, multicriterial choice, sorting.

Introduction

The analytic hierarchy process (AHP) [1, 2, 3], which was proposed by T. Saaty, is one of the popular methods of multi-criteria choice.

The fact that this method is widely used is confirmed by the existence of a large number of modifications [4-7] and software that implements this method [2, 8-12].

However, this method has several disadvantages which significantly complicate its use. Most AHP modifications were developed to eliminate the problems associated with its use [7, 13, 15]. Among the problems of the AHP should be noted following: the ability to compare a small number of alternatives (about 10), the complicated procedure of approval the matrices of paired comparisons, the need to redefine the matrices of paired comparisons at adding (removing) alternatives and others. This paper presents some possible solutions to the problems of AHP.

The Problems of Classic AHP

Let us consider the problems associated with AHP using and existing methods of their solving. AHP works very well on a small number of alternatives and criteria. But the analysis of the consistency of expert judgments causes many difficulties. There are transitive (order) [5] and

cardinal (numerical) consistency of matrices [1]. Author of AHP adheres to the numerical consistency. The matrix is consistent, when all its elements are in the next relation [1]:

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}, \quad (1)$$

where a_{ij} is judgment of preferences in pairwise comparisons of i -th and j -th alternatives. T. Saaty introduced the concept of consistency index (IC) to assess the degree of deviation from the ideal consistency matrix:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (2)$$

where $\lambda_{\max}$ - the maximum eigenvalues of the matrix of pairwise comparisons, n - the matrix size.

The ratio of the consistency index (CI) to the average random consistency index (RI) of the matrix of the same order is called the consistency ratio (CR):

$$CR = \frac{CI}{RI}. \quad (3)$$

CR is a normalized measure of evaluation the consistency of the any dimension matrix. CR value less than or equal to 0.1 is considered as acceptable.

Under the ordinal consistency is understand the transitive preferences for any three alternatives (A, B, C), i.e., if $A \succ B$ and $B \succ C$, then $A \succ C$, where $\succ$ - some preference relation.

Ideal consistency matrix is a matrix satisfying a cardinal and transitive consistency.

The experience of the practical use of AHP shows that to make consistency matrix of order 3..4 is quite difficult. For example, $a_{12} = 0,25$ and $a_{23} = 3$, and $a_{13} = 1$. Consistency ratio is more then 0.1 therefore the matrix of pairwise comparison is inconsistent. Expert was recommended to review the judgment and re-weigh the alternatives, which can take a long time and will not bring the desired result.

There are several approaches to make the consistency of matrices. In [5] it is proposed to achieve the transitive consistency if there is no cardinal consistency. But this approach greatly narrows the range of acceptable values, and some matrices are discarding. For example, con-

sider the matrix $A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$. CR is 0.068 that is less than 0.1. This

matrix has an acceptable cardinal consistency, but there is no transitive consistency. In this case the statement is violated, that the first alternative is superior to the second in 3 times, and the second and third are equivalent, so the first must be superior to the third. But the first and third alternatives are equivalent too.

Another problem stems from the fact that when the cardinal and transitive consistency are going beyond the scale proposed by Saaty [1].

For example, $A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 9 & 81 \\ 1/9 & 1 & 9 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$. In this case the first alternative is much

superior the second, the second is much superior the third, consequently, the first must be superior to the third.

The degree of excellence was calculated by formula (1), is 81, and not included to the Saaty's scale. The matrix is an inconsistent by replacing the 81 by 9. To solve this problem is proposed to normalize the calculated values in accordance with the scale of Saaty, which allows creating a quite consistent matrix [15].

It is required to ensure the consistency of matrices of large dimensions, when we have many alternatives. It is a difficult task. The problem of a limited number of alternatives is solved by using an absolute measurement scale [4], i.e, the so-called ideal model to which each alternative should be compared. In fact, with this formulation of the problem the expert ranks all the alternatives immediately. But the problem of matrix consistency still remains.

The second approach is based on the fact that expert fills only a basic set of alternatives [1, 2], and other relations are calculated according to the formula (1). Thus, the expert primary forms the consistent matrix, but some matrices, which are consistent by Saaty (i.e. $OC < 0.1$), are eliminated, and the expert can not sufficiently plausible assess the situation.

AHP Modification

The matrices of order 3 were investigated. Using a scale of Saaty it is possible to form 4912 matrices, of which only 1495 will be consistent (i.e., will have the consistency ratio less than 0.1). The software, which provides the specific interface for setting matrices of paired comparisons, was developed. The expert submitted three ways to specify matrices - graphic [6], semantic and numeric (Saaty scale) simultaneously.

The ratio of the alternatives is represented as a triangle the vertices of which are the alternatives (Fig. 1).

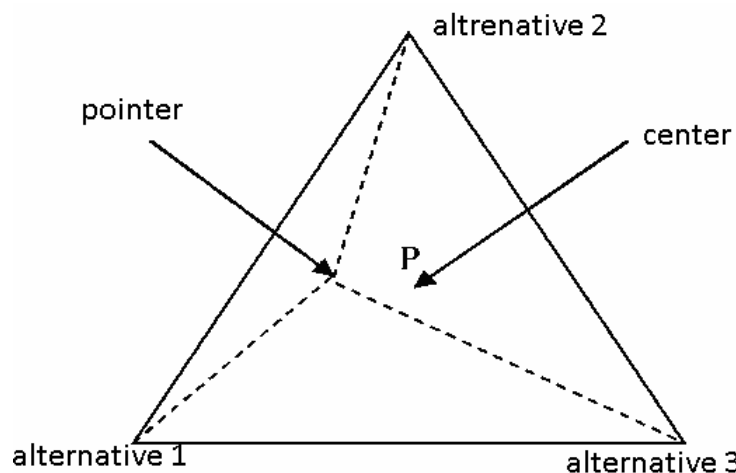


Figure 1 - Graphic representation of a matrix of pairwise comparisons by Saaty

The distance from the point to the indicating vertices of the triangle shows the preferred alternative, concerning the others. In the center of the triangle is the point of the matrix filled with ones (i.e, the case when all the alternatives have equal importance). The problem of minimizing the function was solved for all consistent matrices:

$$F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (a_{ij} - \frac{s_{ij} - r_i}{s_{ij} - r_j})^2, \quad (4)$$

$$r_i = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2, \quad (5)$$

$$s_{ij} = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2, \quad (6)$$

where N - number of alternatives, a_{ij} - an element of the matrix of paired comparisons, s_{ij} - the distance between the vertices corresponding to the alternatives i and j , r_i - the distance between the vertex of the appropriate alternative i and the pointing point. It is also assumed that $s_{ij}=1$, as this parameter is used to normalize the values.

The distribution of pointing points corresponding to the consistent matrices of paired comparisons ($CR < 0.1$) was obtained. As seen in Figure 2, there is a certain regularity of points distribution. Expert determines the appropriate degree of preference alternatives using the developed control element.

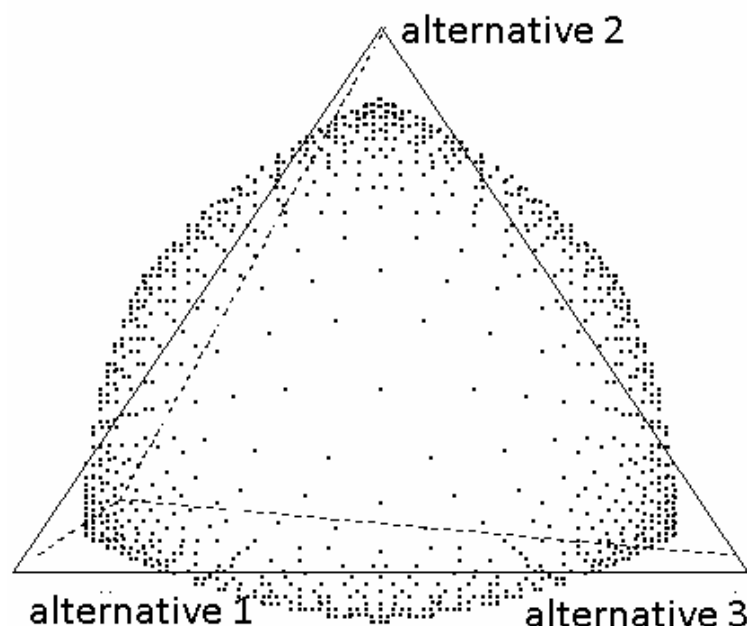


Figure 2 - Distribution of pointing points for the consistent matrices

The developed system is proposed to group alternatives by 3..4 in the group and to fill the corresponding matrix. The experiment was conducted: the four consistent matrices of dimension 3 (A_1, A_2, A_3, A_4) formed the matrix of dimension 4 (A_5). All possible combinations of values of the matrix elements of dimension 3 were used.

During the inspection for consistency derived matrices of the order 4 it was proved that if the matrix is formed from the 4 consistent matrices of order 3, it also will be consistent. It solves the problem of redefining matrices of paired comparisons while adding (removing) alternatives.

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 \end{bmatrix}; \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{14} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{24} \\ 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1 \end{bmatrix}; \quad A_3 = \begin{bmatrix} 1 & a_{23} & a_{24} \\ 1/a_{23} & 1 & a_{34} \\ 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & a_{13} & a_{14} \\ 1/a_{13} & 1 & a_{34} \\ 1/a_{14} & 1/a_{34} & 1 \end{bmatrix}; \quad A_5 = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{24} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & a_{34} \\ 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 \end{bmatrix}.$$

The expert must fill four matrix of dimension 3. At each step, the system will request only those coefficients which have not been input yet. Thus, in the first matrix the expert inputs three values, in the second two and only one in the third, the fourth matrix is filled automatically. When filling each of the following matrices the field of as-

assessments of possible values is narrowed, as those values that were cut off do not match the consistent matrices (Fig. 3). In the figure the points on the second and third triangles, those are marked in areas, corresponding to consistent matrices.

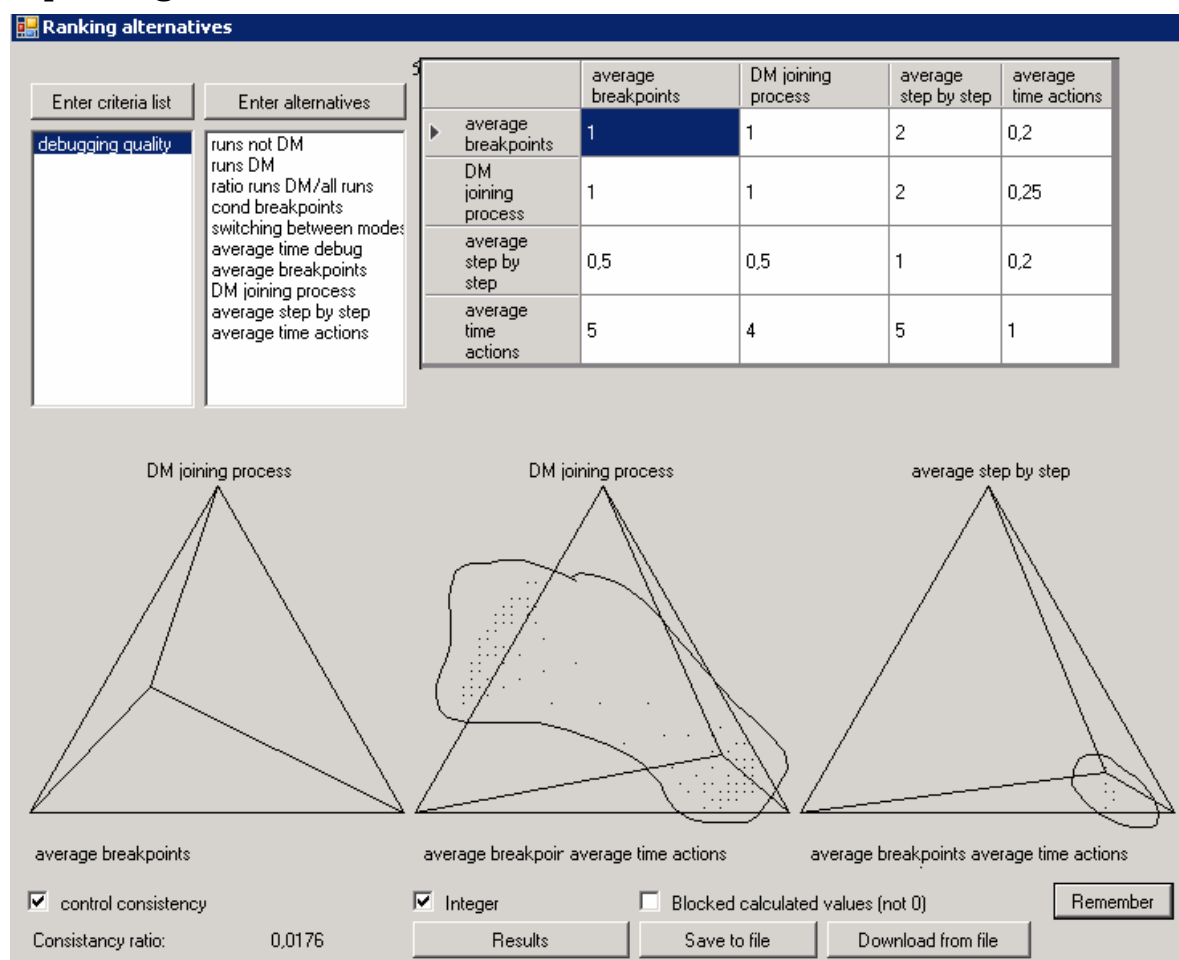


Figure 3 - Filling the matrices of pairwise comparisons with control of consistency

It is proposed to modify the method of analytic hierarchy process to simplify the filling of matrices of pairwise comparisons for a large number of alternatives. The essence of the modification is to divide alternatives into groups, apply AHP to each of the groups and rank alternatives in the groups. Thereafter, to perform the rearrangement and apply AHP for each of the groups. To perform these activities as long as the positions of the alternatives in groups no longer change. Finally, to extend the definition of the general matrix of pairwise comparisons based on the automatically calculated values assessments and rank the alternatives according to the weights. Since regrouping leads to the sorting of alternatives, this method is called AHP with sorting (AHPS).

The initial grouping reduces to determining the number of groups of 4 alternatives and the number of groups of 3 alternatives. Consider the table of partitions for different number of alternatives (Table 1).

Table 1

The Grouping

Number of alternatives	Grouping	Number of alternatives	Grouping	Number of alternatives	Grouping
3	3	13	3 3 3 4	22	3 3 4 4 4
4	4	14	3 3 4 4		4
5	3 3	15	3 4 4 4	23	3 4 4 4 4
6	3 3	16	4 4 4 4		4
7	3 4	17	3 3 3 4 4	24	4 4 4 4 4
8	4 4	18	3 3 4 4 4		4
9	3 3 3	19	3 4 4 4 4	25	3 3 3 4 4
10	3 3 4	20	4 4 4 4 4		4 4
11	4 4 3	21	3 3 3 4 4		
12	4 4 4		4		

It is necessary that the group had four or three alternatives, with preference given to four. Based on the analysis partition table for the different number of alternatives the following dependencies were derived for determining the number of groups from 4 (7) and 3 (8) alternatives:

$$k_4 = \begin{cases} N / 4, & \text{if } \text{mod}(N, 4) = 0, \\ 0, & \text{if } N = 3 \text{ or } N = 5, \\ N / 4 - (3 - \text{mod}(N, 4)), & \text{in other cases.} \end{cases} \quad (7)$$

$$k_3 = \begin{cases} 0, & \text{if } \text{mod}(N, 4) = 0, \\ 1, & \text{if } N = 3, \\ 2, & \text{if } N = 5, \\ (N - k_4 * 4) / 3, & \text{in other cases,} \end{cases} \quad (8)$$

where N - the number of alternatives.

The alternatives regrouping must be performed in groups after ranking of alternatives. For this purpose in each group the value l is calculated as integer part from the dividing number of alternatives in the group for 2 (without rounding) according to:

$$l = [M_k / 2]. \quad (9)$$

The new group is formed of the latest elements of the current and the first elements of the following groups as follows:

$$G'_k = \{G_{k, M_k - p}\} \cup \{G_{k+1, 1}, G_{k+1, 2}\}, \\ G_k = G_k / \{G_{k, M_k - p}\}, G_{k+1} = G_{k+1} / \{G_{k+1, 1}, G_{k+1, 2}\} \quad \forall p \in [1, l], \quad \forall k \in [1, Q] \quad (10)$$

where M_k - number of elements in k -th group; G'_k - set of alternatives in k -th new group, G_k - set of alternatives in k -th group, $G_{i,j}$ - j -th alternative in i -th group, $Q = k_3 + k_4$ - number of groups. When adding alternatives in new group such alternatives are removed from the previous group. If after applying the AHP and the ranking the positions of alternatives were changed in each group, it is necessary to return the alternatives that stand in these positions and re-ranking.

When returning the alternatives in appropriate positions according to the formula (9) for each group, the integer part from dividing the alternatives number in the group for 2 is determined. The new group is formed from elements of the current and the following groups as follows:

$$G_k = \{G_{k,1}, G_{k,2}, \dots\} \cup \{G'_{k,p}\}, \quad \forall p \in [1, l], \quad \forall k \in [1, Q], \quad (11)$$

$$G_{k+1} = \{G'_{k, M_k - p}\} \cup \{G_{k+1, M_k - p}\}, \quad \forall p \in [1, l], \quad \forall k \in [1, Q], \quad (12)$$

where M_k - number of elements in k -th group; G'_k - set of alternatives in k -th group on the previous step, $G_{i,j} - p$ -th alternative in k -th group, $Q = k_3 + k_4$ - number of groups.

Let us consider the the work of AHPS on example of indicators ranking of program debugging (Table 2) for assessment of student work. Debugging indicators will be alternatives; criterion of assessing in this problem is one - the quality of debugging.

Table 2

Software debugging indicators

№	Name of indicators
1	Number of runs the program without debugging
2	Number of runs the program in debug mode (DM).
3	Number of different use conditional breakpoints.
4	Number of switching between runs to the DM and without debugging
5	The ratio of the number of runs in the PO to the total number of program runs
6	Average time of debugging
7	Average number of breakpoints for each run debugging
8	Number of runs in debug mode with joining process.
9	The average number of step by step operations.
10	The average time between the user's actions in the DM

When the expert has inputted all the necessary information: alternatives and criteria, the system divides them into groups according to formula (10). Expert is proposed to fill a matrix of pairwise comparisons for each group using matrices of graphical control or a table. The

result of filling the general matrix of pairwise comparisons of alternatives is given in Table 3.

Table 3

Filling a matrix of pairwise comparisons for the first three groups

№ alter-ve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3							
2	1	1	4							
3	0.33	0.25	1							
4				1	0.25	0.33				
5				4	1	1				
6				3	1	1				
7							1	0.5	0.33	1
8							2	1	2	3
9							3	0,5	1	4
10							1	0.33	0.25	1

Then according to the algorithm the evaluation of alternatives in groups by AHP and sorting alternatives in groups (step 1 in Table 4) are carried out. Each step in the table 4 has two columns: the alternatives order in groups before the application of AHP in each group and the overall ranking (“before”), and after ranking (“after”). Blank lines in the table are the boundaries of the groups. The alternatives position in groups was changed; therefore, new groups are formed (step 2 tab. 4).

Table 4

The order of alternatives in groups for step-by-step AHPS

1 step		2 step		3 step		4 step		5 step		6 step		Ranking		
before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	№ al	Rank 1	Rank 2
1	2	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	2	0.283	0.285
2	1	5	5	1	1	1	1	3	3	6	6	1	0.281	0.271
3	3	6	6	3	3	9	9	6	6	10	10	3	0.167	0.17
				5	5			5	5			6	0.062	0.066
4	5	4	4			5	6			1	1	5	0.061	0.058
5	6	8	8	6	6	6	5	2	2	3	3	4	0.058	0.056
6	4	9	9	4	4	4	4	4	4	4	4	8	0.029	0.029
				8	8	8	8	8	8	8	8	9	0.023	0.025
7	8			9	9			7	7			7	0.019	0.019
8	9					3	3			5	5	10	0.014	0.016
9	7					7	7			7	7			
10	10					10	10			9	9			

Groups are created automatically; the expert fills the offered matrices (Table 5). In Table 5 and later (Table 6) the alternatives assessments of the first group at this step are highlighted with light gray,

and alternatives of the second group - the dark gray. The values that are inputted by expert on the second step are bold. Alternatives in new groups are assessed by AHP and sorted in accordance with estimates. The alternatives positions in groups have not changed (step 2 Table 4).

Table 5

Filling a matrix of pairwise comparisons at the 2 step of sorting

№ alt-ve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3							
2	1	1	4							
3	0,33	0,25	1		6	8				
4				1	0,25	0,33		3	6	
5			0,167	4	1	1				
6			0,125	3	1	1				
7							1	0,5	0,33	1
8				0,33			2	1	2	3
9				0,167			3	0,5	1	4
10							1	0,33	0,25	1

But as the general matrix of pairwise comparisons is not full and not enough data to calculate the remaining values, then the regrouping alternatives is executed (step 3 Table 4). Alternatives return to the previous group and from each of the following group the alternative is added to the previous one. Thus two groups of four alternatives in each are obtained. The result of filling the matrix of pairwise comparisons in step 3 is shown in Table 6.

Table 6

Filling a matrix of pairwise comparisons in step 3 of sorting

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3		9					
2	1	1	4		7					
3	0,33	0,25	1		6	8				
4				1	0,25	0,33		3	6	
5	0,11	0,14	0,167	4	1	1				
6			0,125	3	1	1		4	7	
7							1	0,5	0,33	1
8				0,33		0,25	2	1	2	3
9				0,167		0,147	3	0,5	1	4
10							1	0,33	0,25	1

The alternatives positions have not changed, but the data for the calculation of other values are still insufficiently, so the system generates the three new groups (step 4 Table 4). Expert inputs the necessary assessment values of alternatives for each group (in bold in Table. 7).

Table 7

Filling a matrix of pairwise comparisons in step 4 of sorting

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3		9				9	
2	1	1	4		7				9	
3	0,33	0,25	1		6	8	9			9
4				1	0,25	0,33		3	6	
5	0,11	0,14	0,167	4	1	1		3		
6			0,125	3	1	1		4	7	
7			0,11				1	0,5	0,33	1
8				0,33	0,33	0,25	2	1	2	3
9	0,11	0,11		0,167		0,14	3	0,5	1	4
10			0,11				1	0,33	0,25	1

The assessments of alternatives for each group are marked with the corresponding color (1st - dark gray, 2nd - gray, 3rd - light gray).

After sorting of alternatives in groups the alternatives position in the second group was changed, thus the new groups are formed (step 5 in Table 4). The result of filling the matrix of pairwise comparisons is presented in Table 8. After sorting of alternatives in groups the alternatives position in the second group was changed, thus the new groups are formed (step 5 in Table 4). The result of filling the matrix of pairwise comparisons is presented in Table 8.

Table 8

Filling a matrix of pairwise comparisons in step 5 of sorting

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3		9	6			9	
2	1	1	4	5	7		8	9	9	
3	0,33	0,25	1		6	8	9			9
4		0,2		1	0,25	0,33	5	3	6	
5	0,11	0,14	0,167	4	1	1		3		
6	0,167		0,125	3	1	1		4	7	
7		0,125	0,11	0,2			1	0,5	0,33	1
8		0,11		0,33	0,33	0,25	2	1	2	3
9	0,11	0,11		0,167		0,14	3	0,5	1	4
10			0,11				1	0,33	0,25	1

The position of alternatives in groups has not changed, at the ranking of alternatives in each group by AHP. The expert has input enough data for further calculations.

The system filled the missing values of the estimates automatically; the resulting matrix of pairwise comparisons is presented in Table 9 (marked in gray values that were calculated with system, as the average number of all possible values obtained on the basis of the formula (1)). The consistency ratio of the matrix is 0.164, but the calculated

evaluation of alternatives does not match the scale of Saaty, and the result can not be checked for validity.

Table 9

Pre-filled matrix of pairwise comparisons

1	1	3	18	9	6	51	60	9	186
1	1	4	5	7	20	8	9	9	202
0,333	0,25	1	6	6	8	9	22	27	9
0,055	0,2	0,167	1	0,25	0,33	5	3	6	12
0,11	0,143	0,167	4	1	1	3	3	4	9
0,167	0,05	0,125	3	1	1	3	4	7	15
0,019	0,125	0,11	0,2	0,33	0,33	1	0,5	0,33	1
0,0167	0,11	0,045	0,33	0,33	0,25	2	1	2	3
0,11	0,11	0,037	0,167	0,25	0,143	3	0,5	1	4
0,005	0,005	0,11	0,083	0,11	0,067	1	0,33	0,25	1

Two approaches can be applied to make estimates appropriate to the Saaty scale to solve this problem. At the first pass the transitivity of estimates of maximum excellence is eliminated. All values of pairwise comparisons that exceed 9 are replaced with 9 (as the maximum possible value at very strong superiority). The result is shown in Table 10 (the assessments values calculated by the system are marked with grey). For this matrix, the consistency ratio is equal to 0.129, which is slightly more than an acceptable level.

Table 10

The matrix of pairwise comparisons with the equation estimates the maximum superiority

1	1	3	9	9	6	9	9	9	9
1	1	4	5	7	9	8	9	9	9
0,33	0,25	1	6	6	8	9	9	9	9
0,11	0,2	0,167	1	0,25	0,33	5	3	6	9
0,11	0,143	0,167	4	1	1	3	3	4	9
0,167	0,11	0,125	3	1	1	3	4	7	9
0,11	0,125	0,11	0,2	0,33	0,33	1	0,5	0,33	1
0,11	0,11	0,11	0,33	0,33	0,25	2	1	2	3
0,11	0,11	0,11	0,167	0,25	0,143	3	0,5	1	4
0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	1	0,33	0,25	1

Then the expert has an opportunity to review the automatically calculated estimates. All assessments completed automatically by rows are selected: $a_{1,4}, a_{1,7}, a_{1,8}, a_{1,10}, a_{2,6}, a_{2,10}, a_{3,4}, a_{3,8}, a_{3,9}, a_{4,1}, a_{4,3}, a_{4,10}, a_{5,7}, a_{5,9}, a_{5,10}, a_{6,2}, a_{6,7}, a_{6,10}, a_{7,1}, a_{7,5}, a_{7,10}, a_{8,1}, a_{8,3}, a_{9,3}, a_{9,5}, a_{10,1}, a_{10,2}, a_{10,4}, a_{10,5}, a_{10,6}$. For the formation of new groups the alternative with the lowest number of unfilled estimates is selected and group of 3-4 alternatives, with which it is linked, is formed: for the alternative 2 this are 6 and 10. Because the 10th alternative is already in the group, the estimations related with it

are not counted and the next alternative is selected for the formation of groups: this 4-th alternative and the associated with it 1-st and 3-rd, which in turn are associated with 8-th alternative. Thus, the group of 4 alternatives is formed: 1, 3, 4, 8. And the last group will include those alternatives that are not included in the previous: 5, 7, 9.

Expert, using the control element to fill the matrices of pairwise comparison, refines the estimates that were calculated automatically (see Table 11, changes in bold).

Table 11

The matrix of of pairwise comparisons with the equated estimates of the maximum excellence, complemented by the expert

1	1	3	5	9	6	9	9	9	9
1	1	4	5	7	7	8	9	9	9
0,33	0,25	1	2	6	8	9	5	9	9
0,2	0,2	0,5	1	0,25	0,33	5	3	6	9
0,111	0,143	0,167	4	1	1	1	3	3	9
0,167	0,143	0,125	3	1	1	3	4	7	2
0,111	0,125	0,11	0,2	1	0,333	1	0,5	0,33	1
0,111	0,11	0,2	0,33	0,33	0,25	2	1	2	3
0,111	0,11	0,111	0,167	0,333	0,143	3	0,5	1	4
0,111	0,111	0,11	0,111	0,111	0,5	1	0,33	0,25	1

The alternatives ranking in groups based on the new estimates are performed. The consistency ratio of the general matrix of the comparison alternatives is a valid 0.1. The alternatives ranking is presented in Table 4, column "Ranking", corresponding ranks of alternatives "Rank1".

Consider the second variant of definition the general matrix of pairwise comparisons. If to analyze the pre-calculated matrix of pairwise comparisons (Table 9), it can be seen that all values greater than 9 have a very wide range. Consequently, for all values calculated automatically it is necessary to perform the normalization on a scale of Saaty. The normalization will be done only for large values (greater than 9), in the second half of the scale of Saaty (beginning with 5). Previously, all values, that are larger then 81, are replaced with 81. The normalization coefficient and value corresponding to the current value on the scale of Saaty are calculated as follows:

$$norm = (\max R - \min R) / (\max S - \min S), \quad (13)$$

$$zS = \min S + [(z - \max S) / norm], \quad (14)$$

where *norm* – normalization coefficient; *maxR*, *minR* – maximum and minimum values on the current scale; *maxS*, *minS* – maximum and minimum values on the scale of Saaty; *z* – current value of assessment; *zS* – normalized value of assessment.

Here are the appropriate ranges of values calculated on a scale of Saaty: values from 9 to 23 are replaced with 5, between 24 and 38 – 6, from 39 to 53 – 7, from 54 to 68 – 8, from 69 to 83 – 9. As a result of this replacement the matrix was obtained (Table 12) which has consistency ratio equal 0.11 that is slightly greater than allowable.

Table 12

The matrix of pairwise comparisons with the norm

1	1	3	5	9	6	6	7	9	9
1	1	4	5	7	5	8	9	9	9
0,33	0,25	1	6	6	8	9	5	6	9
0,2	0,2	0,167	1	0,25	0,33	5	3	6	5
0,11	0,14	0,167	4	1	1	1	3	4	5
0,167	0,2	0,125	3	1	1	1	4	7	5
0,167	0,125	0,11	0,2	1	1	1	0,5	0,33	1
0,14	0,11	0,2	0,33	0,33	0,25	2	1	2	3
0,11	0,11	0,167	0,167	0,25	0,14	3	0,5	1	4
0,11	0,11	0,11	0,2	0,2	0,2	1	0,33	0,25	1

To improve the consistency is proposed to form groups of the alternatives with estimations that should be reconsidered. It is proposed to use the approach described above. The groups are formed: alternatives 2, 6 and 10 - the first group, alternatives 1, 3, 4, 8 - the second group and alternatives 5, 7, 9 - the third group (Table 4, step 6, column "before"). Expert refines assessment of alternatives for each group using the control element (Table 13, changes in bold). The alternatives in groups are ranked, and the ranking of all the alternatives on the basis of re-calculated the ranks is executed (Table 4, "Ranking - Rank2"). And the consistency ratio of the general matrix (Table 13) is equal to 0.1.

The matrix of pairwise comparisons with the norm,
is supplemented by expert

1	1	3	4	9	6	6	9	9	9
1	1	4	5	7	5	8	9	9	9
0,33	0,25	1	3	6	8	9	5	6	9
0,2	0,2	0,33	1	0,25	0,33	5	3	6	5
0,11	0,14	0,167	4	1	1	2	3	2	5
0,167	0,2	0,125	3	1	1	3	4	7	2
0,167	0,125	0,11	0,2	0,5	0,33	1	0,5	0,33	1
0,11	0,11	0,2	0,33	0,33	0,25	2	1	2	3
0,11	0,11	0,167	0,167	0,5	0,14	3	0,5	1	4
0,11	0,11	0,11	0,2	0,2	0,5	1	0,33	0,25	1

Conclusions

The developed system for ranking of alternatives allows essentially reduce the expert's assessment work of a large number of alternatives, as well as reduce the occurrence of inconsistent judgments.

This article presents the application of AHP for ranking indicators of debugging. In this approach the matrix of pairwise comparisons (dimension of 10) with a total of 45 expert judgments was formed. The proposed modified AHP allows reducing the number of expert judgments to 29. Control of consistency of paired comparisons matrix helps to get the consistent matrix in the result.

The developed method allows getting a rough picture of ranking of alternatives in a few steps of sorting. Subject to consistent judgments (assessments) the matrix of pairwise comparisons is filled mainly automatically. Expert only corrects some calculated assessments.

This method also allows allocating groups of alternatives that are meaningless to compare with each other, as the result of the comparison is obvious - strong superiority, and it does not affect the result of ranking. The expert receives the maximum consistent matrix for this assessment (even if the ratio of consistency is more than 0.1). The completion of the system for multi-criteria ranking is perspective.

REFERENCES

1. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т. Л. Саати — М.: Радио и связь, 1993. — 316 с.
2. Saaty T. L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process / T. L. Saaty // Royal Academy of Sciences, Spain, Series A. Mathematics, 2008 – November – C. 251–318.

3. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. / Т. Л. Саати — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.
4. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев. / В.Д. Ногин // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2004. — т. 44. — № 7. — С. 1259–1268.
5. Блюмин С. Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова // — Липецк: ЛЭГИ, 2001. — 138 с.
6. Кузнецов В. Г., Шинкаренко В.И. Инвариантно-согласованный метод анализа иерархий в задачах планировании энергосберегающих мероприятий системы электроснабжения железнодорожного транспорта / В. Г. Кузнецов, В. И. Шинкаренко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. — Выпуск 6 (77). — Днепропетровск, 2011.
7. Колесникова С. И. Модификация метода анализа иерархий для динамических наборов альтернатив / С. И. Колесникова // Математические основы интеллектуальных систем, 2009. — №4(6). — С.102 – 109.
8. Абакаров А. Ш. Программная система поддержки принятия рациональных решений “MPRIORITY 1.0”./ А. Ш. Абакаров, Ю. А. Сушков // Электронный научный журнал “Исследовано в России”, 2005 — С. 2130-2146.
9. Super Decisions Software: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.superdecisions.com/>.
10. Expert Choice for Collaborative Decision Making: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://expertchoice.com/>.
11. Евтушенко Г. Л. Разработка веб-приложения «Система поддержки принятия решений NooTron 3.0» / Г. Л. Евтушенко, А. С. Воюев, А. О. Градовский, Н. А. Грачев, В. Г. Макаров, Ю. С. Штефан // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. — Выпуск 2 (91). — Днепропетровск, 2014. — С. 136 – 144.
12. Ломакин В. В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов / В. В. Ломакин, М. В. Лифиренко // Фундаментальные исследования — 2013 — №11. С.1798–1803
13. Теплякова Г. Л. Модель построения рейтинга кафедр интегрированным многокритериальным методом МВС+МАИ / Г. Л. Теплякова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Випуск 3 (86). — Дніпропетровськ, 2013. — С. 135 – 141.
14. Михалёв А. И. Интеграция методов многокритериального анализа и их применение в системе поддержки принятия решений / А. И. Михалёв, В. И. Кузнецов, Н. Н. Ковалик, Г. Л. Теплякова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Випуск 4 (75). — Дніпропетровськ, 2011. — С. 140 – 152.

В.Ф. Балакин, А.А. Байрымов

ЗАЛЕЧИВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СТАЛЬНОЙ КАТАНКИ В ПРОЦЕССЕ РКУП МЕТОДОМ CONFORM

Аннотация. До 10% всей катанки, производимой в Украине имеет повышенный диапазон (по сравнению с ГОСТ 2770) варьирования геометрических и механических характеристик, что препятствует ее последующему использованию. В данной работе решается задача моделирования процесса равноканального углового прессования дефектной катанки с целью определения возможного заживления дефектов. Предполагается, что использование интенсивной пластической деформации в процессе РКУП и метода Конформ позволит получать готовую катанку с механическими характеристиками соответствующими ГОСТ 2770.

Ключевые слова: дефект, катанка, заживление, деформация, конформ.

Залечивание дефектов катанки в процессе РКУП

Введение. Наличие в металле катанки по ТУ 14-4-493 скопленных неметаллических включений, усадочной рыхлости, раковин, пузырей, а также производственных дефектов в виде закатов, трещин, вмятин, задиров, повышает обрывность катанки при волочении, увеличивает число проходов, повышает себестоимость продукции. Однако, качество такой катанки не соответствует ГОСТ 2770, что предопределяет ограниченную область ее использования. [1].

Анализ публикаций. Известен ряд работ, посвященных исследованию влияния равноканального углового прессования на формирование структуры и свойств углеродистой стали [2,3], которые свидетельствуют о значительном увеличении механических свойств стали. Так, в работе [4] показано, что временное сопротивление стали 45 увеличиваются на 31%, предел текучести на 45%, твердость на 32%. Поэтому, исследование влияния ИПД на возможное устранение дефектов в катанке является актуальным.

Цели статьи. Рассмотрение возможности устранения дефектов стальной катанки с использованием технологии Conform. Анализ ре-

зультатов компьютерного моделирования равноканального углового прессования дефектной катанки.

Единственным методом осуществления ИПД при производстве длинномерного проката является метод Conform. Технология Conform или Конформ-процесс — формование длинномерного металлопроката методом непрерывной экструзии. Конформ-процесс позволяет осуществлять интенсивную пластическую деформацию по схеме РКУП в непрерывном режиме.

Равноканальное угловое прессование стальной катанки методом конформ позволяет устранить следующие виды брака: брак по геометрическим размерам; по наличию усадочной рыхлости, раковин, пузырей; наличие поверхностных трещин, царапин, задиров; скоплений неметаллических включений; разнотекучность и несоответствие показателей механических характеристик. Т.е, большая часть видов брака, которая возникает при производстве катанки, может быть устранена с получением качественной готовой продукции в соответствии с нормами и требованиями.

Проверка действенности интенсивной пластической деформации на процесс заживления дефектов бракованной катанки была осуществлена компьютерным моделированием в среде Deform 3D. На рис. 1 изображена схема моделирования процесса РКУП.

Исходные данные для моделирования: диаметр катанки 6.5 мм; материал катанки: 0.08 CarbonSteel; температура процесса 400°C; скорость прессования: 50 мм / с; угол между каналами контейнера: 120 °; коэффициент трения: 0.3; заложенные дефекты: сквозные отверстия диаметром 1; 1,5; и 2 мм, проходящих через ось заготовки; вырезы в форме параллелограммов, расположенных на поверхности, глубиной 1 мм, толщиной 0.5 мм, длинами 9.3 и 7.3 мм., имитирующие поверхностные трещины.

Деформацию и заживление дефектов можно разделить на 2 этапа: до попадания в очаг интенсивной пластической деформации при движении заготовки в контейнере под давлением (первый этап заживления) и в очаге ИПД (второй этап заживления). Предполагается, что механизмы заживления на этих этапах принципиально отличаются: на первом этапе деформация дефектов и их заживление происходят вследствие высокого давления по схеме всестороннего неравномерного сжатия, а на втором ключевую роль играет степень

сдвиговой деформации. Заложенные для моделирования дефекты несколько крупнее реальных. Но они позволяют более наглядно проследить процессы, которые происходят с ними при равноканальном угловом прессовании.

Рассмотрение 1-го этапа залечивания (до попадания в очаг ИПД)

Уже на 11 - м шаге из 167 (0,1 секунда после начала прессования) становится очевидным явление концентрации напряжений на дефектах (рисунок 2). Причем видно, что первый дефект (диаметром 1 мм.) в значительной степени деформировался.

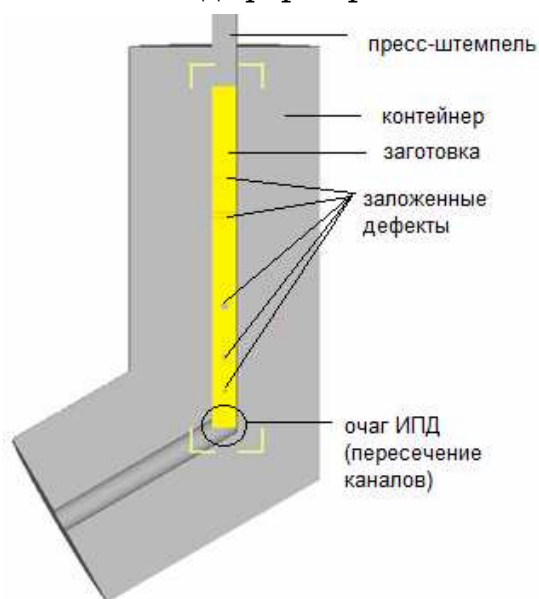


Рисунок 1 - Схема моделирования процесса РКУП

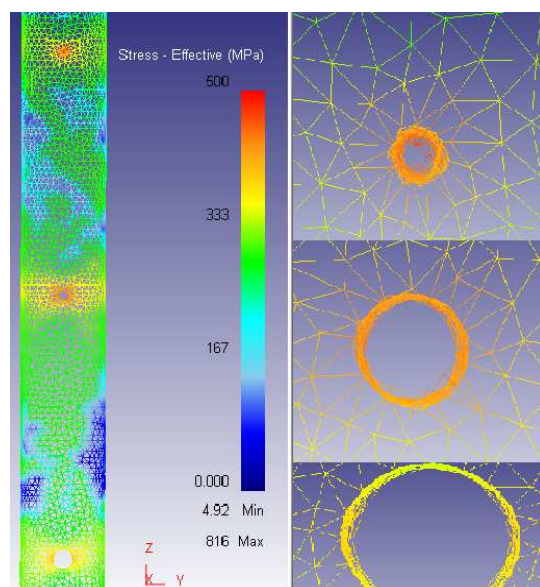


Рисунок 2 – Концентрация напряжений на дефектах

Рассмотрение трансформации поверхностных дефектов, показало, что первые значимые изменения, которые следует отметить, состоялись на шаге 25 (0.123 секунды с начала процесса, рисунок 3). На рисунке показаны контуры дефекта и его общий вид на заготовке. Как видно, напряжения, при которых проходит прессование, привело к сплющиванию ребер дефектов, находящихся на поверхности заготовки. Концентрация напряжений, которая играет значительную роль для залечивания сквозных дефектов, имеет место и для дефектов поверхностного типа. На следующих шагах происходила их дальнейшая деформация, в результате которой перед попаданием в очаг ИПД дефекты практически полностью залечились.

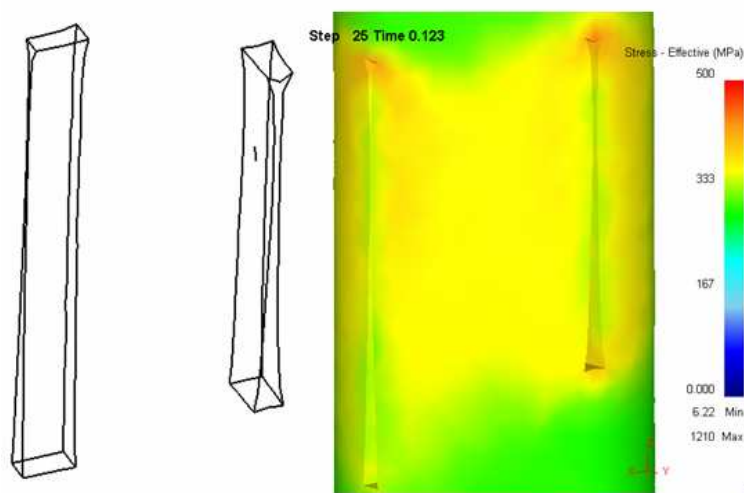


Рисунок 3 – Начальный этап деформации поверхностных дефектов

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что поверхностные дефекты и сквозные отверстия в какой-то степени залечиваются еще на этапе до попадания в очаг ИПД.

Залечивание дефектов в очаге ИПД

Окончательное залечивание, которое позволит получить бездефектный продукт, происходит в очаге ИПД. На рис.4 пошагово показано, как устраняется дефект в виде сквозного отверстия после попадания в очаг ИПД.

Рассмотрение залечивания поверхностных дефектов в очаге ИПД показало следующее. Перед попаданием в очаг ИПД заложенные дефекты, имитирующие трещины, уже в значительной степени деформировались. Следующие шаги показали их дальнейшее устранение и уменьшение их размеров. Однако после полного прохождения очага деформации незначительные следы от них остались.

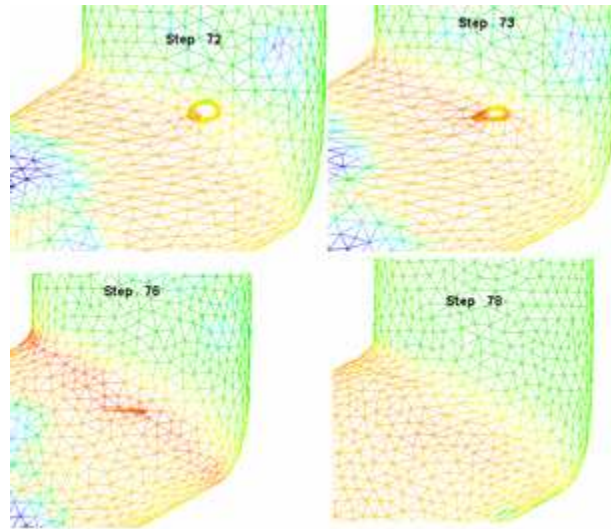


Рисунок 4 – Залечивание дефекта
в виде сквозного отверстия в очаге ИПД

Выводы. Анализ результатов моделирования процесса равноканального углового прессования позволил сделать следующие выводы.

1. Процесс РКУП позволяет полностью залечить дефекты исходной заготовки, величина которых превосходит реально существующие.

2. Моделирование показало, что частичное залечивание дефектов происходит под давлением в контейнере, когда дефект еще не достиг очага ИПД.

3. Окончательное залечивание дефектов происходит в зоне ИПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Должанский А.М., Петлеваный Е.А., Ломов И.Н., Ломова О.Б., Ермакова О.С. Волочение стальной катанки с поперечными сквозными дефектами // В сб. Удосконалення процесів і обладнання обробки металургії і машинобудування: Краматорськ: ДГМА, 2008;
2. Валиев Р.З. Получение уникальных механических свойств углеродистой стали 45 за счет интенсивной пластической деформации / Р.З. Валиев, Н.Г. Зарипов, М.В. Караваева, С.К. Нуриева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика, 2011. – Том 23. – № 11
3. Астафурова Е.Г. Особенности микроструктуры и механическое поведение стали 06МБФ после равноканального углового прессования / Е.Г. Астафурова, Г.Г. Захарова, Е.В. Найденкин, Г.И. Рааб, П.Д. Одесский, С.В. Добаткин // Письма о материалах, 2011. – Том 1. – С. 198-202.
4. Пинчук С.И., Рааб Г.И., Тишкевич Д.Г., Балакин В.Ф., Лысак В.В. Структура и свойства стали 45 после равноканального углового прессования при 400°C. MetalJournal - 2014.

УДК 622.73

Р.В. Коломиец, В.А. Грушко, А.О. Кириченко, Н.П. Кузьменко
**ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ПРОДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА В
КАМЕРЕ АЭРОФОНТАННОЙ СУШИЛКИ**

Аннотация. Приведены экспериментальные исследования на испытательном сушильном стенде с целью определения среднего времени и горизонтальной скорости движения сыпучего материала в условиях изменения давления воздушного потока и угла поворота направляющих лопаток подовой решетки. Разработана методика определения основных газодинамических параметров горизонтального продвижения материала в процессе сушки во взвешенном состоянии.

Ключевые слова: взвешенное состояние, сушка, сыпучий материал, лопаточно-щелевая решетка.

Введение. Сушка материалов является распространенной операцией в подготовительных и заключительных процессах обработки материала, необходимой для повышения эффективности его использования. Одним из методов влагоудаления является сушка материалов во взвешенном состоянии, поэтому определение оптимальных режимов процесса является актуальным направлением исследований. В работе процесс сушки исследуется в аэрофонтанной сушилке «Аэрофонтан-СТР», описание которой приведено в [1]. В этом устройстве материал под действием воздуха не только сушится, но и транспортируется, поэтому важно исследовать горизонтальное продвижение материала в сушильной камере. Горизонтальное продвижение материала существенно влияет на оптимальный режим его сушки, так как скоростью продвижения можно регулировать время сушки, скорость вращения и перемешивания частиц материала и т.д.

Цель данной работы – экспериментальное определение скорости горизонтального продвижения материала в сушильной камере при различных давлениях воздуха и углах поворота лопаток для дальнейшего определения оптимальных режимов сушки.

Основная часть. Исследования процесса сушки на экспериментальной установке проведено в два этапа: определение параметров

энергоносителя, вдуваемого через лопатки решетки внизу камеры без материала, и исследование параметров горизонтального продвижения энергоносителем загружаемого материала [2] вдоль подовой решетки.

Измерения полного и статического давления осуществлялось многопредельным микроманометром и наклонной трубкой ММН-240(5)-1,0 в подводящих к подовой решетке трубопроводах. Исследовались три режима расхода воздуха: минимальный (6 кг/мІ), средний (24 кг/мІ) и максимальный (32 кг/мІ), которые определялись предварительно.

Для проведения расчетов использовались геометрические характеристики камеры сушки и рабочие параметры элементов сушильного стенда «Аэрофонтан-СТР» (рис. 1):

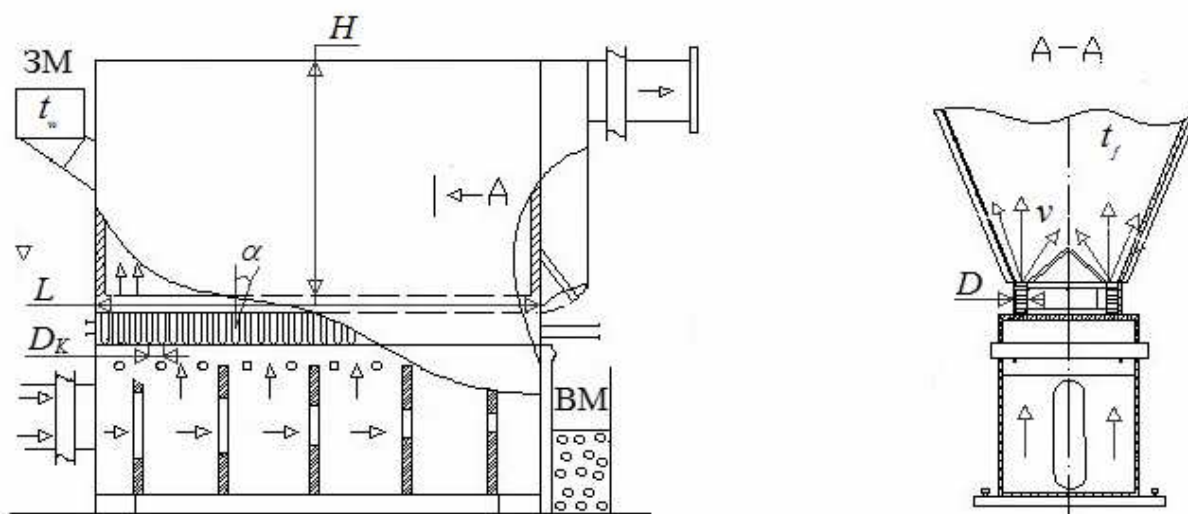
Длина подовой решетки (L) $L = 1950$ мм.

Ширина подовой решетки (D) $D = 162$ мм.

Ширина канала подовой решетки (D_k) $D_k = 15$ мм.

Угол наклона лопаток от вертикали (α) $\alpha = \pm 15^\circ$.

Высота сушильной камеры (H) $H = 1230$ мм.



ЗМ – место загрузки первичного материала,

ВМ – место выгрузки высушенного материала.

Рисунок 1 - Принципиальная схема сушильной камеры «Аэрофонтан-СТР»

Скорость воздуха в трубопроводе V_T вычислялась в месте измерения полного и статического давления по формуле

$$V_T = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot g}{\rho}}, \quad (1)$$

где Δp – динамическое давление (напор), $\Delta p = p_{\text{пол.}} - p_{\text{стат.}}$;

ρ – плотность воздуха ($\rho \approx 1,29 \text{ кг/м}^3$);

g – ускорение свободного падения.

Зная площадь поперечного сечения трубопровода в месте измерения S_1 , можно вычислить расход воздуха Q , поступающий в форкамеру подовой решетки [4]

$$Q = S_1 \cdot V_T \quad (2)$$

Скорость воздуха V_p между лопатками в лопаточно-щелевой решетке через площадь ее «живого» сечения S_2 определялась по формуле [5]:

$$V_p = \frac{S_1 \cdot V_T}{S_2} \quad (3)$$

Результаты измерений и расчетов скоростей и расхода воздуха при данных площадях сечения и давлениях представлены в таблице 1

Таблица 1

Результаты измерений параметров энергоносителя

Режим	Δp , кг/мІ	V_T , м/с.	S_1 , м ²	Q, мІ/с.	S_2 , мІ	V_p , м/с.
Минимальный	6,0	9,5	0,06	0,29	0,0344	8,3
Средний	24,0	19,0	0,06	0,59	0,0344	16,6
Максимальный	32,0	22,0	0,06	0,69	0,0344	19,2

В качестве имитатора сыпучего материала выбраны зерна пшеницы $\rho_{\text{пш}} = 770 \text{ кг/м}^3$, пенопласт $\rho_{\text{пен}} \approx 22,5 \text{ кг/м}^3$, шарики полиэтилена $\rho_{\text{пол}} = 1200 \text{ кг/м}^3$. Масса отдельных зерен в среднем около 0,09 г. при объеме в 65,4 ммІ который вычисляется при эквивалентном диаметре 5 мм. Пенопласт нарезался кубиками с размером ребра около 20мм, объемом около 8000 ммІ и массой 0,2-0,27 г. Этот материал наиболее удобен для экспериментов, так как частицы пенопласта хорошо просматриваются в камере подовой решетки, имеют большую парусность, чем другие материалы, и небольшую массу.

Первичное тестирование начиналось с визуализации направления энергоносителя по так называемым «маячкам» (рис. 2) - разноцветным лентам, прикрепленные к конусу по центру вдоль воронки

камеры - камеры фонтанирующего слоя со стеклянными стенками. Результаты фиксировались фотоаппаратом и видеокамерой.



Рисунок 2 - Визуализация воздушного потока с помощью разноцветных лент при среднем режиме подачи воздуха с наклоном лопаток 0° , 0° , 0° , $+15^\circ$

На втором этапе исследований определялась горизонтальная скорость движения сыпучего материала. Для этого загружалась определенная порция материала, подавался энергоноситель через щели решетки. Наклоном лопаток организовано движение материала в горизонтальном направлении вдоль лопаточно-щелевой решетки. Горизонтальная скорость V движения этой массы вычислялась по времени движения t вдоль участка решетки S в виде $V = S / t$.

Время движения массы сыпучего материала на определенном отрезке пути измерялось по движению одной конкретной частицы пенопласта в виде черного кубика находящейся среди массы белых. Для получения среднестатистического результата проводилось большого количества измерений.

Мгновенная горизонтальная составляющая скорости V_{Γ} движения кубика определяется по его мгновенной скорости $V_{h/l}$.

$$V_{\Gamma} = V_{h/l} \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где h – высота расположения кубика по координатной сетке;

l – длина расположения кубика по координатной сетке;

α – угол наклона вектора мгновенной скорости к горизонтальной поверхности.



Рисунок 3 – Перемещение черного кубика (1) в фонтанирующем слое

Опыты проводились по следующей схеме. Исследовался процесс перемещения материала разной массы при трех режимах энергоносителя и при разных углах поворота лопаток (5° , 10° , 15°) относительно вертикальной оси. Во всех последующих опытах контролируется длительность измерения, скорость воздуха в трубопроводах и в щелях решетки, мгновенная скорость кубика. Вычислено среднее время прохождения t_{cp} (см. рис. 4) маркированным кубиком сушильной камеры (СК), значения горизонтальной скорости, ее средняя величина $V_{cp,г}$ (рис. 5). Условия проведения опытов приведены в табл. 2. Напор воздуха определялся расчетным путем, по показаниям манометров.

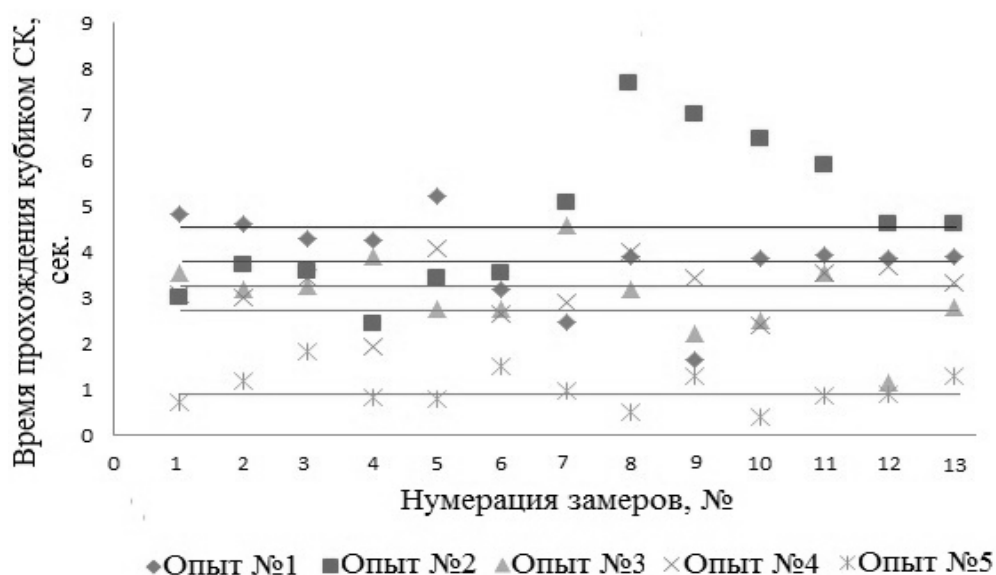


Рисунок 4 - Время и среднее время t_{cp} прохождения кубиком СК

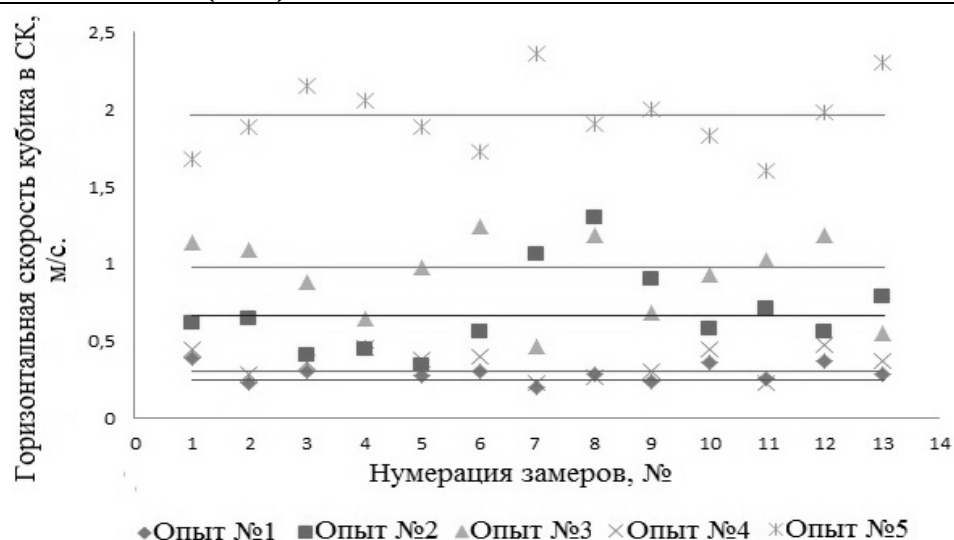


Рисунок 5 - Горизонтальная скорость кубиков в сушильной камере

Таблица 2

Условия проведения опытов (при массе сыпучего материала 0,2 кг)

Номер опыта, №	1	2	3	4	5
Угол поворота лопаток, α	5°	5°	10°	10°	15°
Напор воздуха Δp , МПа (кг/мI)	0,882 (9,0)	1,176 (12,0)	1,176 (12,0)	0,882 (9,0)	0,882 (9,0)

Установлена прямо пропорциональная зависимость горизонтальной скорости материала от угла наклона лопаток в подовой решетке, что объясняется изменением величины воздушного напора энергоносителя и изменением времени прохождения материалом сушильной камеры. При этом с увеличением угла наклона лопаток, увеличивается скорость (хаотического) движения кубиков внутри объема камеры. Сокращается количество колебаний материала в горизонтальной траектории движения кубиков и увеличивается круговое (циркуляционное) движение кубиков в плоскости, перпендикулярной к вертикальной разделительной стенке в СК. При уменьшении воздушного напора увеличивается время продвижения и уменьшается горизонтальная скорость кубиков. Результаты вычислений параметров представлены в табл. 3.

Результаты вычислений параметров процесса

Номер опыта, №	1	2	3	4	5
Угол поворота лопаток, α	5°	5°	10°	10°	15°
Скорость в трубопроводах V_T , м/с	12,3	13,5	13,5	12,3	12,3
Скорость в щелях решетки V_p , м/с	21,45	23,54	23,54	21,45	21,45
Время $t_{ср}$, с	3,91	4,63	2,8	3,31	1
Напор воздуха Δp , МПа (кг/м ²)	0,882 (9,0)	1,176	1,176	0,882	0,882
Отклонение времени Δ $t_{ср}$, с	-	+0,72	-1,11	-0,59	-2,91
Горизонтальная скорость $V_{ср.Г}$, м/с	0,307	0,687	0,925	0,36	1,95
Отклонение скорости Δ $V_{ср.Г}$, м/с	-	+0,38	+0,618	+0,053	+1,643

Выводы

Разработана методика определения основных газодинамических параметров горизонтального продвижения материала в процессе сушки в экспериментальной установке. Установлена зависимость скорости продвижения от углов наклона лопаток подовой решетки. Полученные экспериментальные данные можно использовать для определения оптимальных режимов сушки в аэрофонтанной сушилке.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.К. Мартынов Экспериментальная аэродинамика Москва – 1950. – 236 с.
2. А.В. Лыков Теория сушки Москва – 1968. – 472 с.
3. А.Ю. Вараксин., Турбулентные течения газа с твердыми частицами. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 192 с.
4. С.А. Христианович. Прикладная газовая динамика. Часть I. 1948.- 148 с.
5. Н.С. Прядко Сжигание низкосортных углей с газодинамической транспортировкой материала. Автореф. дисс. канд. техн. наук: ДМетаУ: Днепр-ск. – 2005. – 23 с.

А.Ф. Петров, О.В. Кукса, Л.А. Головки, С.В. Греков

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОРСОДЕРЖАЩИХ ФЕРРОСПЛАВОВ

Аннотация. С помощью разработанных критериев и методики получены уравнения для прогнозирования физико-химических и теплофизических свойств борсодержащих ферросплавов (в частности ФБ20) используемых на металлургических предприятиях Украины.

Ключевые слова. Ферросплавы, свойства, критерии, прогнозные модели.

Получение высококачественных марок сталей с заданными свойствами достигается введением в расплав различного рода легирующих, раскисляющих, модифицирующих и др. добавок (ферросплавов, лигатур). Эффективность их использования во многом определяется условиями взаимодействия ферросплавов с жидким металлическим расплавом, что невозможно без знания их физико-химических и теплофизических свойств.

Несмотря на накопленный металлургической практикой опыт, данные о свойствах большей части ферросплавов остаются ещё мало изученными. Существующие экспериментальные методы их определения достаточно трудоёмки и ограничены техническими возможностями используемого оборудования и, главное, ввиду химической и структурной неоднородности анализируемых добавок не всегда позволяют получать адекватные результаты. В то же время, ни одна из известных на сегодняшний день моделей математического описания зависимостей физико-химических свойств от состава не обеспечивает системного перехода от анализа бинарных к более сложным многокомпонентным системам. Фактически для каждой бинарной, а тем более многокомпонентной системы, эмпирическим путем подбирается индивидуальная модель для количественного описания и теоретического объяснения зависимостей изменения свойств от концентрации компонентов.

В современной металлургии наметилась тенденция расширения сортамента и увеличения объема производства борсодержащих сталей. Этот рост наблюдается как при выплавке высокопрочных и износостойких сталей, так и при производстве сравнительно новых трубных сталей высокого класса прочности, низкоуглеродистых марок сталей, для глубокой вытяжки и высокопрочных мартенситных сталей для изготовления ответственных узлов автомобилей [1].

Бор - это уникальный элемент, который, при минимальной концентрации в стали, способен оказывать на ее свойства влияние, эквивалентное действию значительно большего количества таких легирующих элементов, как Cr, Mo, Ni и др. Микролегирование стали бором является одним из перспективных направлений повышения качества металлопроката. Бор вводят в сталь, в основном, в виде ферробора с 17-20% бора (ФБ17, ФБ20) а также с различными комплексными сплавами [1, 4]. Количество вводимого бора зависит от марки стали, ее раскисленности, состава борсодержащего ферросплава и т.д. [2, 3]. Об оптимальном содержании бора в стали существуют спорные мнения, но большинство авторов считает оптимальной концентрацией 0,001-0,005%. В. При содержании бора более 0,006% сталь становится красноломкой.

Имеющиеся данные по свойствам ферробора [5-7], хотя и характеризуются представительностью, являются неоднозначными (значения для ФБ0 по плотности отличаются на 25%, а по температуре плавления на 15%). По данным [8, 9], ферробор с 10-24% бора, 1-4% кремния и 0,5-4,3% алюминия имеет температуру плавления в пределах 1350-1550 °С и плотность от 5,4 до 6,5 г/см³. При этом установлено [9], что температура плавления ферробора увеличивается, а плотность снижается при повышении содержания бора. По сведению [10], температура плавления ФБ17-20 колеблется в пределах 1400-1550 °С. В работе [11] указывается, что борсодержащие ферросплавы, за исключением ФБ15 (1540°С), обладают достаточно низкой температурой плавления (1230-1480 °С). Отмечается, что добавка 1% бора к сплавам Fe-Si повышает температуру плавления на 20-40 °С. Дальнейшее увеличение бора до 10% в тройных сплавах продолжает повышать, а увеличение содержания кремния – понижать температуру плавления. Оптимальную температуру плавления имеют сплавы ФСБ25 (1395 °С) ФСБ45 (1275 °С).

Авторы [10] указывают что, плотность ферробора с 17-20% бора составляет 5,6-5,8 г/см³, а ферросиликобора (3-6% В; 35-45% Si; остальное – железо) ~ 4,8 г/см³. В [11] показано, что с увеличением содержания бора в сплаве до 10-15% его плотность уменьшается.

Информация о теплофизических характеристиках (теплоемкость C_p , теплопроводность λ , теплота плавления $Q_{пл}$) имеется лишь для отдельных марок борсодержащих ферросплавов. Учитывая ограниченность и спорность информации по отдельным характеристикам многокомпонентных металлических систем, в частности борсодержащих ферросплавов, особый научный и практический интерес представляют расчетные методы определения физико-химических свойств, позволяющие прогнозировать составы ферросплавов с оптимальными характеристиками.

В настоящей работе авторы рассматривают возможности использования ранее разработанных критериев и методики для прогнозной оценки физико-химических и теплофизических свойств борсодержащих ферросплавов, которая основана на описании строения и свойств бинарных расплавов и твердых растворов [12–14]. Информация о составе сплавов закодирована в виде параметра Z^y , определяемого как число электронов, принимающих участие в образовании среднестатистической связи между двумя атомами сплава заданного состава, и являющегося его электронным химическим эквивалентом, структурного параметра d , характеризующего среднестатистическое расстояние между атомами в квазихимическом приближении, а также избыточных параметров ΔZ^y и Δd . Эти параметры определяются как разность между Z^y и d для расплава и соответствующих параметров и механической смеси из исходных компонентов этой системы, т.е.

$$\Delta Z^y = Z_{\text{спл.}}^y - \sum Z_i^y \cdot n_i \text{ и } \Delta d = d_{\text{спл.}} - \sum d_i \cdot n_i,$$

где n_i – атомная доля компонентов расплава.

Рассчитанные значения этих параметров для некоторых борсодержащих ферросплавов представлены в табл.1.

Химический состав и модельные параметры
борсодержащих ферросплавов [11]

№ п/п	Ферросплавы	Химсостав, % вес.			Модельные параметры			
		<i>Si</i>	<i>B</i>	<i>Fe</i>	Z^y, e	$d \cdot 10^{-1}, \text{нм}$	$\Delta Z^y, e$	$\Delta d \cdot 10^{-1}, \text{нм}$
1	ФС25В1	24,7	1	74,2	1,649	2,463	0,553	-0,050
2	ФС25В5	23,7	5	71,2	1,601	2,390	0,589	-0,055
3	ФС25В10	22,5	10	67,5	1,517	2,331	0,590	-0,047
4	ФС45В1	44,5	1	54,4	1,634	2,356	0,542	-0,002
5	ФС45В5	42,7	5	52,5	1,596	2,294	0,580	-0,023
6	ФС45В10	40,5	10	49,5	1,528	2,242	0,587	-0,034
7	ФС75В1	74,2	1	24,7	1,389	2,215	0,303	0,026
8	ФС75В5	71,2	5	23,7	1,410	2,164	0,386	-0,009
9	ФС75В10	67,6	10	22,5	1,401	2,122	0,445	-0,034

По рассмотренной методике моделирования с использованием предлагаемых физико-химических критериев (Z^y , d , ΔZ^y , Δd) была исследована зависимость физических и теплофизических свойств, кинетики растворения борсодержащих ферросплавов приведенных, в работах [11]. Ниже представлены типичные уравнения для расчета свойств по составу ферросплавов, записанному в терминах модельных параметров. Показано, что изменение плотности (D), температуры плавления ($T_{пл}$), теплоемкости ($C_{тв}$), теплоты плавления ($Q_{пл}$), теплопроводности (λ) и времени полного расплавления (τ) описываются уравнениями:

$$D = -4,2Z^y + 9,2d + 7,5\Delta Z^y + 8,6\Delta d - 13,2 \quad (1)$$

$$T_{пл} = 1230 - 778Z^y + 427d + 594\Delta Z^y - 1207,5\Delta d \quad (2)$$

$$C_{тв} = 1435 - 14Z^y - 353d - 973\Delta Z^y - 103,4\Delta d \quad (3)$$

$$C_{ж} = 1689,7 - 164,6Z^y - 487,1d - 1,53\Delta Z^y + 20,7\Delta d \quad (4)$$

$$Q_{пл} = 6381,4 - 233,5Z^y - 2070,2d + 246,8\Delta Z^y + 2095,6\Delta d \quad (5)$$

$$\lambda = 8,6 + 11,8Z^y + 1,97d - 12,5\Delta Z^y + 4,7\Delta d \quad (6)$$

$$\tau = 54,5 + 101,4Z^y + 61,6d + 123,5\Delta Z^y + 4,7\Delta d \quad (7)$$

Полученные данные свидетельствуют о достаточно высокой сходимости экспериментальных и расчетных значений рассматриваемых характеристик ферросплавов (коэффициент корреляции не ниже

0,85). Это подтверждает возможность применения полученных уравнений (1-7) для прогнозной оценки соответствующих свойств борсодержащих ферросплавов.

Оценку свойств стандартных марок ферробора разных марок проводили, используя соответствующие экспериментальные данные, представленные в работах [11, 15]. Сопоставление экспериментальных и рассчитанных данных для борсодержащих ферросплавов по плотности, теплоемкости, теплопроводности и теплоте плавления определялось по уравнениям (8-11).

$$D = -2086Z^y + 9902d + 4687,6\Delta Z^y + 5336,7\Delta d - 16809 \quad r=0,97 \quad (8)$$

$$C_{pж} = 1546,8 - 25,07Z^y - 286,2d - 61,1\Delta Z^y - 152,4\Delta d \quad r=0,94 \quad (9)$$

$$Q_{пл} = 6243,3 - 164,1Z^y - 2041,8d + 175,3\Delta Z^y + 2136,3\Delta d \quad r=0,99 \quad (10)$$

$$\lambda = 18 + 10,3Z^y - 1,46d - 11,1\Delta Z^y - 5,5\Delta d \quad r=0,91 \quad (11)$$

Рассчитанные по вышеприведенным уравнениям значения свойств борсодержащих ферросплавов удовлетворительно согласуются с имеющимися экспериментальными данными и поэтому могут быть использованы при оценке эффективности их применения на основных этапах сталеплавильного передела. С помощью полученных уравнений провели предварительную прогнозную оценку свойств: температуры плавления ($T_{пл}, K$), плотности ($D \cdot 10^3, \text{кг/м}^3$), теплоемкости (C , Дж/кг·К), теплоты плавления ($Q_{пл}$, кДж/кг), коэффициентов теплопроводности (λ , Вт/м·К) и температуропроводности ($\alpha \cdot 10^{-3}, \text{м}^2/\text{с}$), ферробора ФБ-20, используемого, в частности, на ПАО «Днепропец-сталь» и ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Выводы. Разработанные модели позволяют прогнозировать влияние изменения состава ферросплавов на их свойства. Отметим, что ни один из других, известных нам методических подходов, не создает столь благоприятных условий для решения подобных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манашев И.Р., Шатохин И.М., Зиятдинов М.А. Особенности микрорегистрирования стали бором новых материалов – боридом ферротитана // Сталь. -2009. -№10. -С. 34-38.
2. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Магнитогорск: МГТУ, -2000. -544 с.
3. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия, -1986. -192 с.

4. Жучков В.И., Носков А.С., Завьялов А.Л. Растворение ферросплавов в жидком металле. Свердловск: УрО АН СССР, -1990. -134 с.
5. Охотский В.Б. Модели металлургических систем / В.Б. Охотский // Системные технологии. – Днепропетровск, -2006. -284 с.
6. Изучение свойств ферросплавов и лигатур для микролегирования и раскисления стали / В.С. Игнатьев, В.А. Вихлевщук, В.М. Черногрицкий, В.П. Пиптюк [и др.]. // Изв. вузов. Черная металлургия. –1988. –№ 6. –С.37–42.
7. Комплексное исследование свойств легирующих и микролегирующих материалов / [В.А. Вихлевщук, В.С. Игнатьев, Ю.Н. Омель, А.В. Кекух] // Теория и практика металлургии. –1999. –№ 3. –С.29–30.
8. Дурер Р. Металлургия ферросплавов / Р. Дурер, Г. Фолькерт. – М.: Металлургия, -1976. –480 с.
9. Емлин Б.И., Гасик М.И., Справочник по электротермическим процессам. М.Металлургия, -1978. –288 с.
10. Лякишев Н.П., Плинер Ю.П., Лаппо С.И. Борсодержащие сплавы. М.: Металлургия, -1986. -192 с.
11. Жучков В.И. Растворение ферро-сплавов в жидком металле / В.И. Жучков, А.С. Носков, А.Л. Завьялов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, -1990. –134 с.
12. Приходько Э.В., Петров А.Ф. Роль направленного межатомного взаимодействия в формировании микрон неоднородного строения металлических расплавов // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. –1995. –№ 12. –С.5–12.
13. Приходько Э.В., Петров А.Ф. Влияние параметров направленного межатомного взаимодействия на термодинамические свойства металлических расплавов // Процессы литья. –1995. –№ 1. –С.64–74.
14. Приходько Э.В., Петров А.Ф. Физико-химические критерии для оценки степени микрон неоднородности металлических расплавов // Металлофизика и новейшие технологии. -1998. –Т.20. –№7. –С.64–74.
15. Ефименко С.П. Пульсационное перемешивание металлургических расплавов / С.П. Ефименко, В.Л. Пилюшенко, А.А. Смирнов. – М.: Металлургия, -1989. –168 с.

УДК 669.02/09:669.14.018.29.011.5

Д.Н. Тогобицкая, В.П. Пиптюк, И.Н. Логозинский, Б.А. Левин,

А.В. Яковицкий, А.С. Козачёк, О.В. Кукса

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО ВЛИЯНИЯ СОСТАВА
СТАЛИ 30ХГСА НА ФОРМИРОВАНИЕ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ
ДЛЯ УСЛОВИЙ ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»**

Аннотация. На примере стали марки 30ХГСА показана методика определения рационального элементного состава (в пределах марки) с использованием параметров межатомного взаимодействия. Выполнена оценка влияния примесно-микролегирующей подсистемы на механические свойства стали и внесены соответствующие коррективы за счет элементов матричной подсистем.

Ключевые слова: состав, свойства, межатомное взаимодействие, интегральные параметры, «суженные» диапазоны.

Введение. Сталь 30ХГСА, как конструкционный материал, имеет большие возможности для повышения ее качества и улучшения служебных свойств за счет совершенствования технологии производства, уникальных способов микролегирования с использованием возможностей физико-химической природы и физической структуры стали.

Конструкционная легированная сталь 30ХГСА относится к перлитно-ферритному классу. Из стали этой марки изготавливаются детали, работающие при больших ударных и знакопеременных нагрузках, такие как валы, оси, зубчатые колеса, ответственные сварные конструкции.

Согласно ГОСТу 4543-75 химический состав стали 30ХГСА находится в следующих диапазонах (вес.%): С - 0,28-0,34; Si - 0,9-1,2; Mn - 0,8-1,1; Cr - 0,8-1,1; S до 0,025; P до 0,025; Cu до 0,3; Ni до 0,3.

Механические свойства согласно ГОСТу 11269-76 следующие: σ_B , кгс/мм² -110, σ_T , кгс/мм² -85, δ_5 , % -10, ψ , % -45, KCU, кгс м/см² –

© Тогобицкая Д.Н., Пиптюк В.П., Логозинский И.Н., Левин Б.А., Яковицкий А.В., Козачёк А.С., Кукса О.В., 2016

5 при режиме термической обработки - закалка 880°C, масло, отпуск 480-570°C, масло.

Результаты исследований. Расчетно-аналитические исследования проводились на данных интегрированной базы о составе и свойствах за период 2010-2014г.г.

На рис. 1 приведен сортамент продукции стали 30ХГСА по требуемым типоразмерам за период с 2010г. по 2014г.



Рисунок 1 – Сортамент продукции стали 30ХГСА за период с 2010 г. по 2014г.

Данные подвергались экспертному аудиту в соответствии с выбранной концепцией формирования репрезентативной выборки, описанной для стали 14Х17Н2 [1]. Рассмотрена выборка с режимом термической обработки - закалка 890°C-40мин. отпуск 540°C -40мин. (n=450). Для комплексной оценки качества продукции использовался интегральный критерий качества (рис.2):

$$K = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{X_H} \right)},$$

где i – количество показателей качества;

Π – символ их произведения.

В качестве X_H использованы согласно ГОСТу 11269-76 минимальные значения механических свойств стали (рис.2). Для выбранного режима термической обработки характерны достаточно стабильные, соответствующие ГОСТу, механические свойства в интервалах σ_s (кгс/мм²) - (110-135; 97 % значений), σ_T (кгс/мм²) - (85-123; 97 %), δ (%) - (10 -22; 100 %), ψ (%) - (45-67; 95 %), КСЧ (кгс м/см²) - (5-9.6; 97%) .

Для оценки комплексного влияния элементного состава на механические свойства стали использована методика свертки химиче-

ского состава на основе параметров межатомного взаимодействия (рис. 3) [2].

Учитывая обратную связь между прочностными и пластическими свойствами ставилась задача поиска компромиссной области, обеспечивающей стабилизацию свойств на требуемом уровне. Как следует из рис. 4, оптимальное соотношение прочностных и пластических свойств находится в диапазоне $1,255 \leq Z^Y \leq 1,257$.

С целью выявления вклада в формирование механических свойств структурных подсистем – матричной (C, Si, Mn) и примесных (P, S) и (W, Ti, V, Mo) выполнен факторный анализ [3].

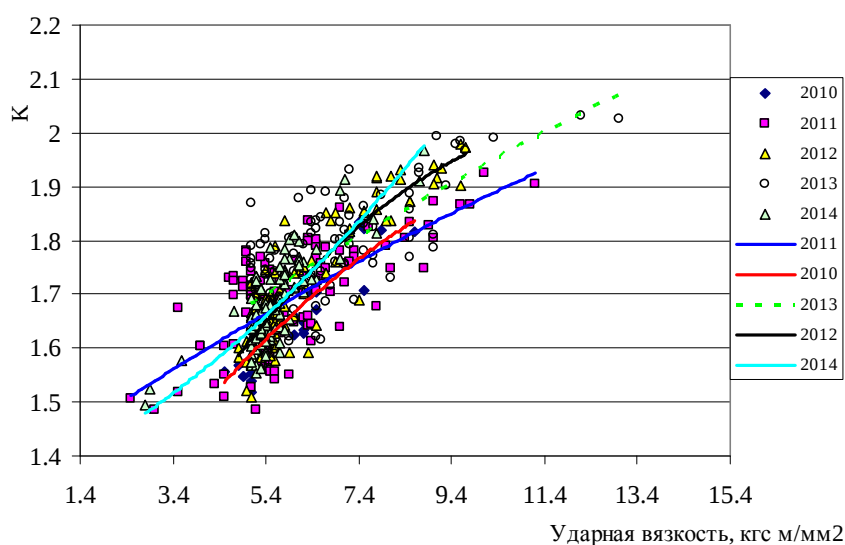


Рисунок 2 - Сравнительный анализ ударной вязкости 30ХГСА и комплексного критерия качества K

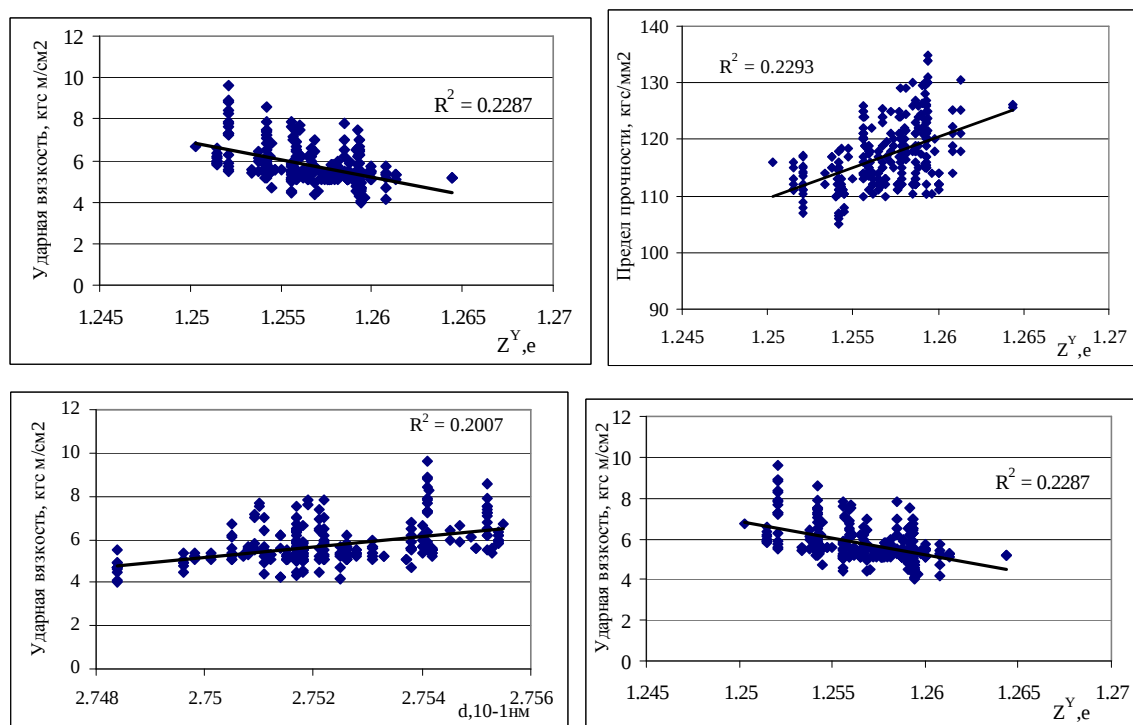


Рисунок 3 – Взаимосвязь параметров межатомного взаимодействия: физико-химического эквивалента - $ZY(e)$ и структурного параметра - $d(10-1nm)$ с механическими свойствами стали 30ХГСА

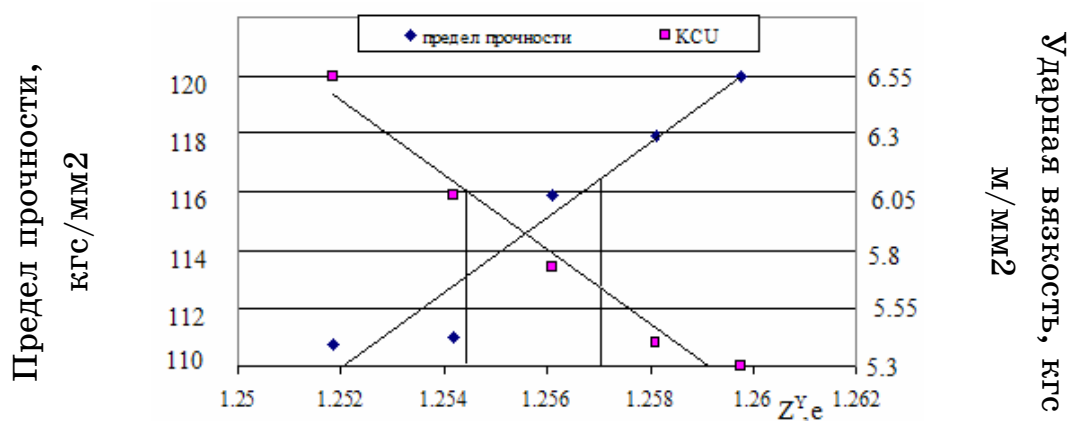


Рисунок 4– Графическая интерпретация трендов взаимосвязи механических свойств стали 30ХГСА и параметра зарядового состояния $ZY(e)$

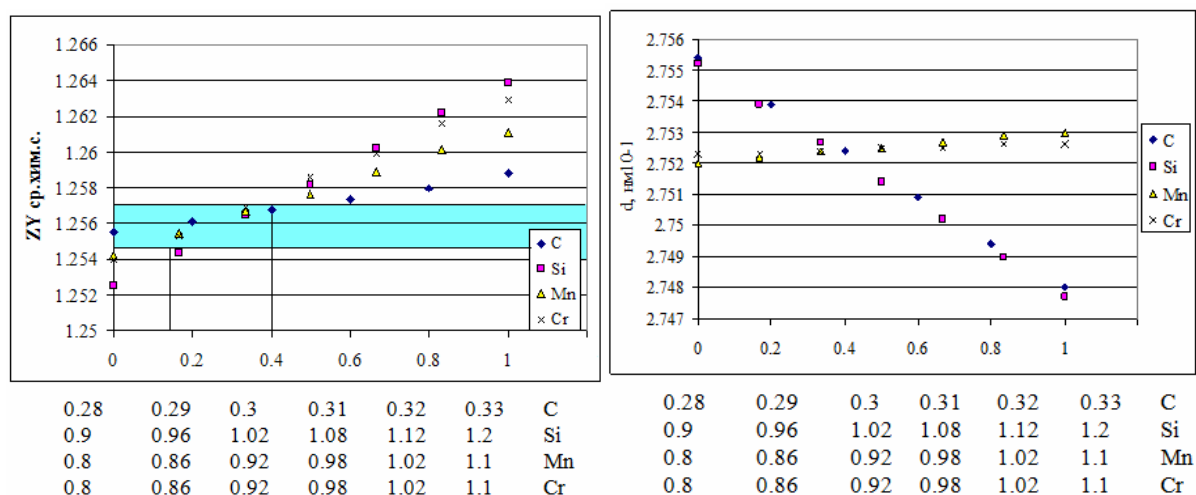


Рисунок 5 – Влияние химических элементов на изменение параметров межатомного взаимодействия для полного химического состава:
а - $Z^Y(e)$, б - $d(10^{-1}nm)$

Используя влияние элементов матричной подсистемы на изменение комплексных физико-химических критериев $Z^Y(e)$ и $d(10^{-1}nm)$ на основе вычислительного эксперимента (химический состав нормирован к масштабу [0-1]) получили «суженные» диапазоны элементного состава (рис.5). При таком подходе влияние примесных и матричной подсистем, оценивается комплексно через их физико-химические критерии (химические эквиваленты).

Нелинейный характер влияния матричной подсистемы, а также сложное влияние микро-примесной подсистемы подтверждает (рис.6). Из-за отсутствия возможности регулирования концентрации элементов входящих в состав примесной микролегирующей подсистемы (вольфрам, молибден, титан и ванадий), корректировку стабилизации свойств стали осуществляли за счет изменения содержания основных легирующих – углерод, кремний, марганец и хром. Исходя из представленных картограмм, требуемый уровень ударной вязкости при приемлемых прочностных свойствах удовлетворяют составы матричной подсистемы с показателями $Z_{CSiMn}^Y \leq 1,702$ е.

Учитывая высокую связь между параметром Z_{CSiMn}^Y и отношения Si/Mn ($r^2=0,82$) получили рекомендуемое соотношение Si/Mn $\leq 1,15$.

Статистический анализ текущих плавок с помощью t-критерия Стьюдента показал, что значения для пластических свойств и удар-

ной вязкости значительно выше ($\alpha \leq 0,05$) для данной области, а прочностные свойства находятся в области допустимых значений.

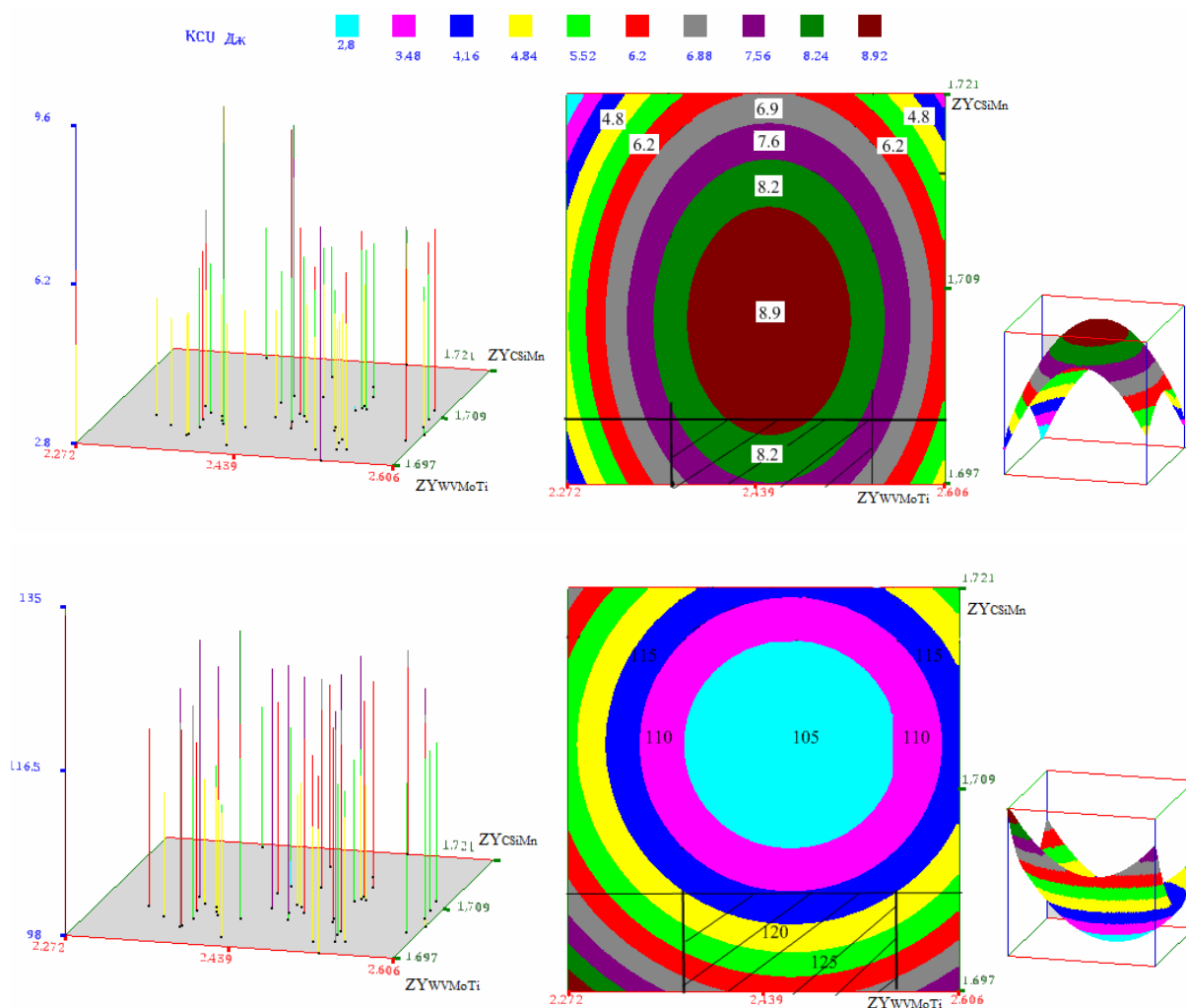


Рисунок 6 – Зависимость механических свойств стали 30ХГСА от параметров межатомного взаимодействия матричной и микропримесной подсистем

Выводы. Статистический анализ механических свойств стали 30ХГСА и комплексного критерия качества за период 2010-2014г.г. показал полное соответствие продукции требуемым условиям ГОСТа.

С помощью методологии вычислительного эксперимента получены граничные условия рекомендуемого «суженного» химического состава: углерод - 0,29-0,3, кремний - 0,98-1,02. марганец - 0,89-0,97. хром - 0,89-0,93. Тестирование указанных диапазонов по t-критерию Стьюдента подтвердило полученные результаты при стандартном режиме термической обработки (закалка 880°C, масло, отпуск 480-570°C, масло).

Показано значимое влияние на формирование механических свойств стали 30ХГСА матричной подсистемы C-Si-Mn. Получено рациональное соотношение кремния и марганца ($\text{Si/Mn} \leq 1,15$).

Согласованность элементов матричной подсистемы с учетом значимого влияния хрома, как легирующего элемента, обеспечивается соотношениями $\text{Si/Mn} \leq 1,15$, $0,89 \geq \text{Cr} \geq 0,93$, при которых уровень потребительских свойств обеспечивает $\sigma_{\text{в}}$ -112-116 кгс м/мм², КСЧ-6,2-6,8 кгс м/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Тогобицкая Д. Н. Системный подход к выбору оптимального элементного состава стали, обеспечивающего требуемый уровень механических свойств / Д. Н. Тогобицкая, В. П. Пиптюк, И. Н. Логозинский, Б. А. Левин, А. С. Козачек, О. В. Кукса, Ю. М. Лихачев // Системные технологии. Региональный сборник научных трудов. – Днепропетровск. 2015 – Вып.2(97) — С.91-97.
2. Тогобицкая Д. Н. Оптимизация химического состава колесных марок сталей на основе параметров межатомного взаимодействия / Д. Н. Тогобицкая, А. И. Бабаченко, А. С. Козачёк, А. А. Кононенко, Л. А. Головки // Математичне моделювання. — №1 (30). — Днепропетровськ. 2014 — С. 44—47.
3. Иберла К. Факторный анализ. Пер. с нем. Ивановой В. М. / К. Иберла К. М. : Статистика. — 1980. — 399 с.

A.I. Guda, A.I. Mikhalyov

MULTI-MODEL METHODS AND PARAMETERS ESTIMATION APPROACHES ON NON-LINEAR DYNAMIC SYSTEM IDENTIFICATION

Abstract. In this article the new approach of the extremum estimation in the non-linear dynamic system identification problem are proposed. Major drawback of the previous approach is fixed. A series on simulations, that justifies new method was held.

Keywords: non-linear dynamic system identification, multi-model identification methods, simulation, extremum estimation.

Introduction

Parametric identification of the complex non-linear dynamic systems is not only complex, but also a time-consuming task. One of the reasonable approach to significantly decrease identification time is to use the ensemble of the models and searching agents in conjunction with the adaptive-searching methods [1,2]. Obviously, using such methods implies existence of the proper identification criterion. On the other hand, every tactics for the agents ensemble requires existence not only criterion, but a algorithm for the searching movement. Most of applied algorithms, in turn, requires method to determine the place of the local extremum point (if any).

In the previous papers some approaches to this task was considered. Simulation results shown applicability of these approaches, but the further investigations shows some drawbacks. In this paper the phenomena and methods to workaround these drawbacks will be considered.

Task definition

Lets assume, that we have object "O" and the ensemble of the models " M_i ", $i \in [0, n-1]$. For every other definitions we will designate by the "o" index the values, which belongs to object, and index " mi " – to model number i . In this paper In this paper only 3 adjacent models will be simulated, and this models will receive indexes "l", "c" and "r". As it

was done in previous papers, we will use simple, but non-linear model of the criterion and parameter dependency:

$$q_{mi}(p_o, p_{mi}) = a_l(p_o - p_{mi}) + a_a|p_o - p_{mi}|, \quad (1)$$

where p – parameter, q – criterion, a_l – linear sensitivity coefficient, a_a – non-linearity (absolute value) coefficient. The distance in the parameter space between neighboring models will be equal: $p_r = p_c + A, p_l = p_c - A$. As an example of real non-linear dynamic object, a well-known Lorenz system [3] will be used.

Function of quality F represented by this way:

$$F(q_{mi}) = \exp\left(-\frac{q_{mi}^2}{q_\gamma^2}\right), \quad (2)$$

where q_γ – sensitivity scale. It is possible to use other similar representation of this function, but in this case it does not make significant sense.

A series of identification process simulations with different values of identification system parameters was held, and the RMS of the identification errors was measured. The value of $\bar{e}_{ge}$ describes identification error, if the value of the estimated parameter is given as:

$$p_{ge} = \frac{F_l p_l + F_c p_c + F_r p_r}{F_l + F_c + F_r}. \quad (3)$$

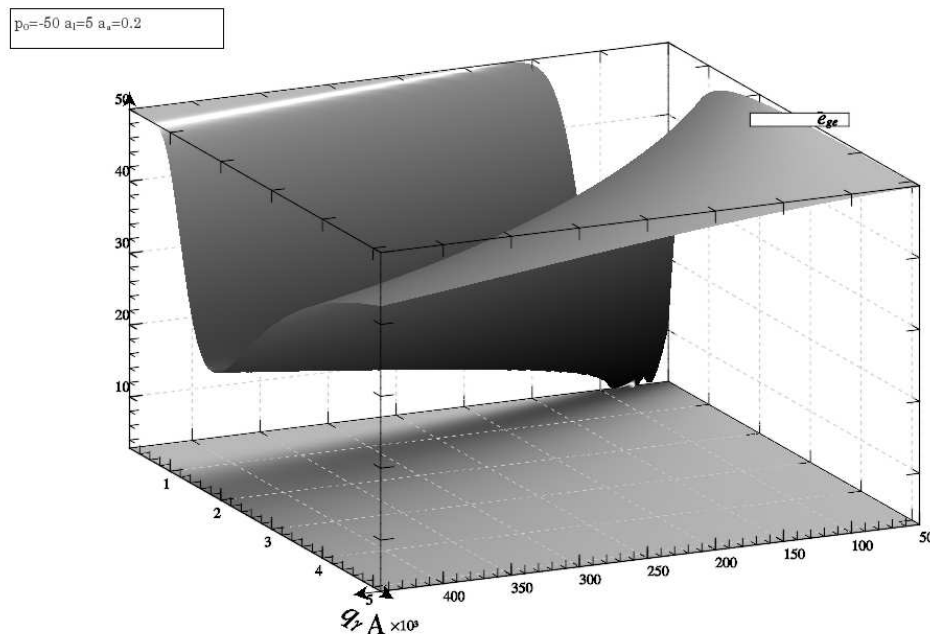


Fig. 1 – Dependence $\bar{e}_{ge}(q_\gamma, A)$ for the model (1)

In the fig. 1 the dependence $\bar{e}_{ge}(q_\gamma, A)$ is shown. The minimal value of the parameter “A” was chosen as $A=|p_o|$, to ensure, that real extremum is placed inside models. We can see, that successful identification is possible only inside quite narrow “valley”. This drawback prevents from effective usage of the extremum estimation in the form of (3), as it requires too many information about system under identification, but such information will be available only after identification itself. Moreover, the more non-linear properties system demonstrates, the shorter will be the “valley”.

The second approach to estimate the extremum position is to approximate function $F(p)$ by parabola $F(p) \approx a_2(p - p_c)^2 + a_1(p - p_c) + a_0$. It was considered only the case, where $a_2 < 0$ and estimated value p_{ee} is limited to half-width of A. The first condition is quite obvious, and the second was imposed due to some details in the implementation of the some searching algorithms, where important condition was non equal values of adjacent p_{ee_i} .

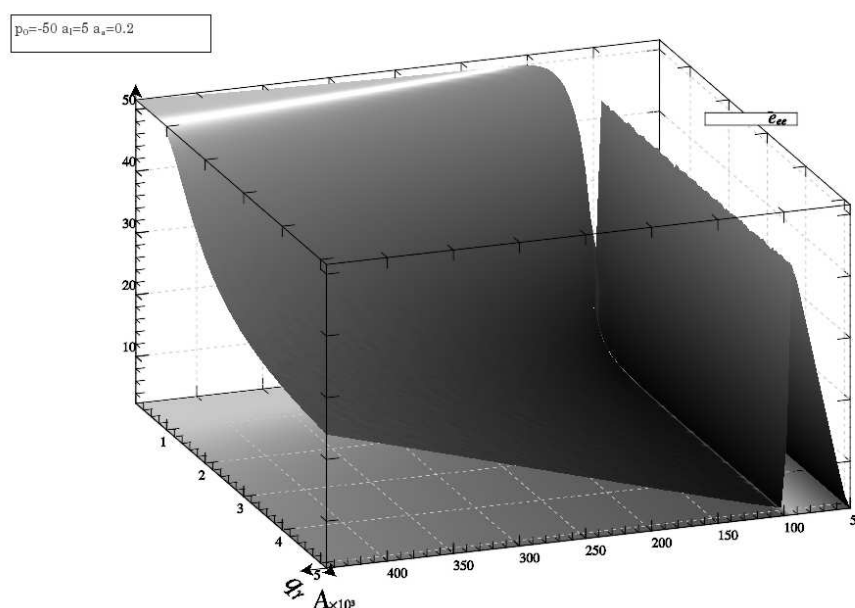


Fig. 2 – Dependence $\bar{e}_{ee}(q_\gamma, A)$ for the model (1)

In the fig. 2 the resulting dependence $\bar{e}_{ee}(q_\gamma, A)$ is shown, where $\bar{e}_{ee}$ corresponds to p_{ee} . We can easily notice, that unlike fig. 1 correct estimation occurs in much wider area. Moreover, this picture remains near the same for much large values of q_γ , that corresponds to minimal sensitivity. But essential drawback is striking in the right part of the

plot. Surprisingly high values of $\bar{e}_{ee}$ are observed near line $A = 2|p_o|$. This fact disturbs identification process in the area, situated near real extremum.

The similar results was achieved while parametric identification of the Lorenz chaotic system (fig. 3).

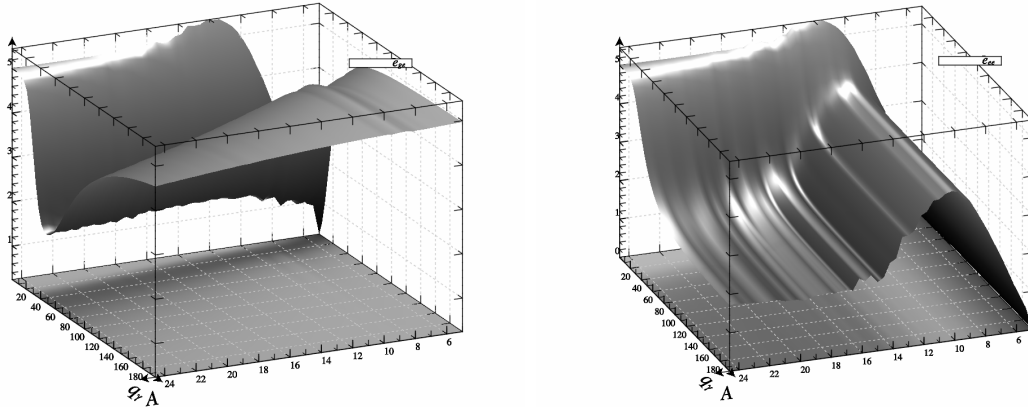


Fig. 3 – Dependencies $\bar{e}_{ge}(q, A)$ and $\bar{e}_{ee}(q, A)$ for the Lorenz system

So, to achieve better results for the identification problem, its vital to provide better method to local extremum approximation.

Analysis and conclusion

According to existent properties of p_{ge} and p_{ee} extremum approximation, the second one was chosen as candidate to improvement. Manual investigation of the values near the problem area shows, that the main reason of such undesirable behavior is artificial parameter limiting to half-width in conjunction with automatic selections of the next best model. It was reasonable in the method with models with fixed parameters, but leads to exception of the large parametric range.

So, to prevent such exception, it may be reasonable to use not half-width range, but all available range between models:

$$p_{ee} \in (p_l, p_r). \quad (4)$$

This approach may lead to problems, if the values of p_{ee} from the neighbor models is used directly by the identification method. On the other hand, such methods appears as not enough effective, so in this case we may neglect this drawback.

Simulation results

To test this proposition, a new series of simulation were held by the means of the program “qontrol”. All parameters was the same, ex-

cept limiting range to p_{ee} , which was now defined as (4). New RMS error dependencies is show in fig. 4–6.

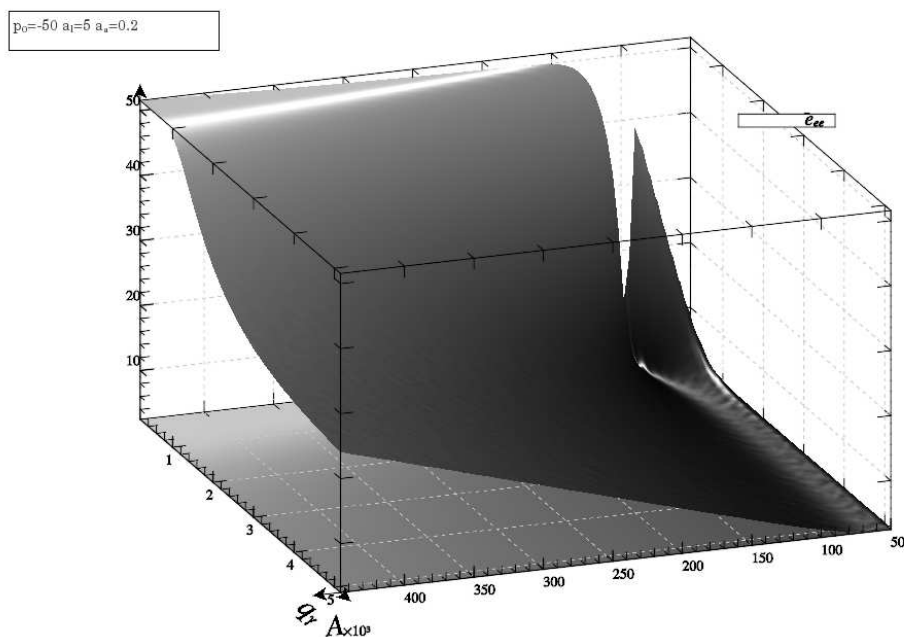


Fig. 4 – New dependence $\bar{e}_{ee}(q_\gamma, A)$ for the model (1)

Fig. 4 demonstrate dramatic enhancement of the $\bar{e}_{ee}(q_\gamma, A)$ dependence in the area $A \in [|p_o|, 2|p_o|]$. Now it is the area with minimal RMS error. This fact may be used by many identification method to provide better precision and less identification time due to parameter “A” adaptation.

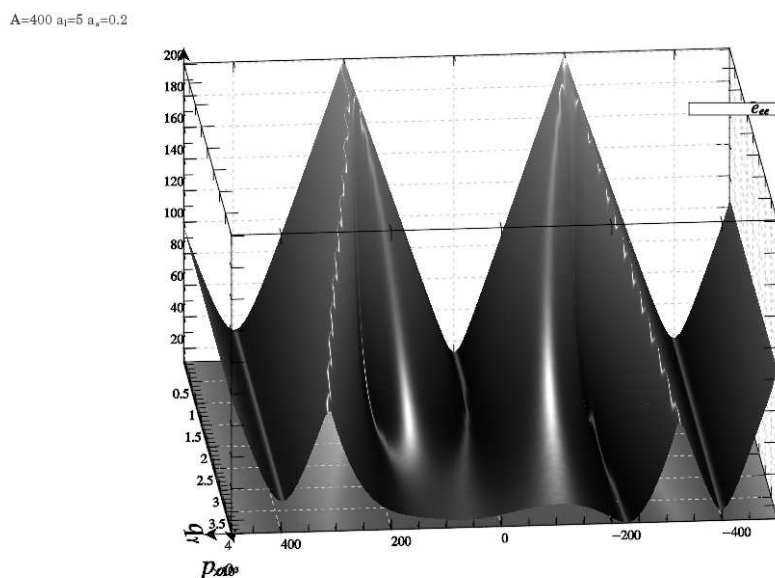


Fig. 5 – New dependence $\bar{e}_{ee}(q_\gamma, p_o)$ for the model (1) at fixed A

The similar result is shown in the fig. 5, where parameter A was fixed, and the values of p_o and q_γ was variable. In the area, where q_γ is not too low, the RMS error is limited.

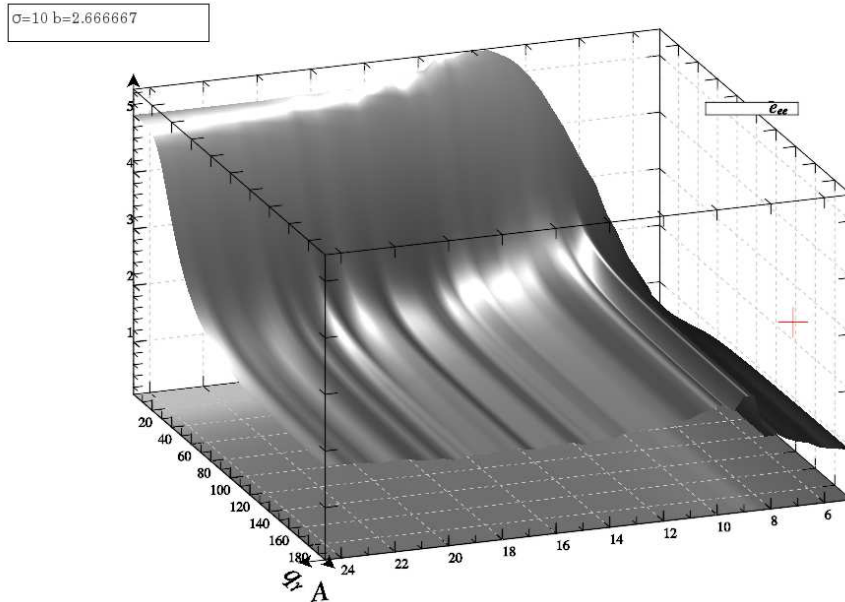


Fig. 6 – New dependence $\bar{p}_{ee}(q_\gamma, A)$ for the Lorenz system

The same changes was observed (fig. 6) in the task of Lorenz system identification.

Conclusions

By the aid of the new approach to limit p_{ee} value (4), it appears, that RMS identification error in the area $A \in [|p_o|, 2|p_o|]$ became much smaller. This approach gives possibility to essentially improve identification method due to parameters adaptation in the real time.

REFERENCES

1. Multi-model methods and parameters estimation approaches on non-linear dynamic system identification / Guda A.I., Mikhalyov A.I. // Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології», № 4'(99) 2015 – P. 3–9.
2. Method of Lorenz systems parametric identification by the searching models ensemble objects / Guda A.I., Mikhalyov A.I. // Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT) – 2015 – P. 73–75.
3. Adaptive-search system identification adjusting in application to chaotic objects / Guda A.I., Mikhalyov A.I. // Adaptive systems of automatic control. – 2013. – № 22(42). – P. 134–139. (in russian).

В.В. Гнатушенко, Н.О. Владимирська
**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
БАГАТОАДРЕСНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

Анотація. Створено імітаційну модель багатоадресної передачі даних для аналізу проходження трафіку та завантаженості мережі з mesh-топологією. Досліджено якість роботи даної моделі в залежності від часу роботи мережі, обсягу переданих повідомлень і кількості переходів. Розроблено систему нечіткого виведення з заданими залежностями параметрів мережі та правилами нечіткого виведення оцінки якості обслуговування вузлів, яка дозволяє підвищити якість обслуговування користувачів.

Ключові слова: модель, маршрутизація, система нечіткого виведення, багатоадресність.

Постановка проблеми

Останнім часом розвиток мережевих технологій йде в напрямках: збільшення швидкості передачі даних, підвищення ступеня мобільності користувачів, розширення кількості послуг і ступеня інтелектуальності мережевого та абонентського обладнання [1]. Всі маршрутизатори, які підтримують протоколи багатоадресної розсилки або на яких вона встановлена незалежно від протоколів, створюють в мережі кілька копій пакетів такої розсилки тільки в точках розгалуження маршрутів, що дозволяє забезпечити найбільш ефективну доставку даних [2]. Найчастіше такий вид комунікації використовується при організації відеоконференцій, корпоративних мереж, дистанційного навчання, а також для поширення програмного забезпечення, біржових котирувань, новин і т.п.

Однак при використанні багатоадресної адресації існують проблеми, пов'язані з відсутністю гарантії успішної доставки пакетів через перевантаженість мережі. Вирішення цих питань пов'язано з відновленням втрачених пакетів і розробкою маршруту проходження пакетів до груп одержувачів. Дослідження всіх факторів зводить за-

дачу маршрутизації до вирішення завдання оптимального розподілу ресурсів мережі. Використання нечіткої логіки в рішенні питань маршрутизації забезпечує наступні переваги: можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінки і порівняння; проведення якісних оцінок, як вхідних даних, так і вихідних результатів; дозволяє проводити порівняльний аналіз із заданою точністю; допускає швидке моделювання мереж і автоматизацію процесу визначення маршруту.

Аналіз останніх досліджень

Недолік традиційних методів маршрутизації трафіку в multicast-мережах полягає в тому, що шляхи вибираються без урахування поточного завантаження ресурсів мережі [3-5]. У технологіях мультікастинга в телекомунікаційних мережах проведено багато досліджень по створенню нових алгоритмів статичної оптимізації передачі даних [6], оптимізації структури мережі з точки зору завантаженості [7]. Запропоновано метод гілок і меж для ефективної оптимізації оптимальної структури мережі передачі даних [8]. Також було запропоновано новий підхід щодо підвищення пропускної здатності [9] для знаходження оптимального поєднання параметрів запитів передачі даних, і підхід до вирішення проблем передачі великого обсягу інформації [10]. Інші автори аналізують передачу даних в таких мережах, але не приділяють достатню увагу забезпеченню виконання вимог до якості обслуговування.

В даний час залишається актуальним і затребуваним питання оптимізації процесів багатоадресної передачі даних в мережах, а так само потреба в розробці нових моделей для вирішення цих завдань.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Мета роботи полягає в розробці імітаційної моделі мережі з використанням багатоадресної передачі даних, дослідженні її завантаженості в залежності від різних параметрів (розмір переданих повідомлень, часу роботи мережі і кількість переходів) і аналізі результатів моделювання з застосуванням апарату нечіткої логіки.

Основна частина

В даному дослідженні розроблені імітаційні моделі multicast-мережі в середовищі OPNET і MatLAB для дослідження параметрів, які впливають на завантаженість мережі. Для моделювання мережі в середовищі OPNET була використана mesh топологія мережі, оскільки вона характеризується високою стійкістю до відмов. В даному ви-

падку кожна робоча станція мережі з'єднується з декількома іншими робочими станціями цієї ж мережі з можливим прийняттям на себе функцій комутатора для інших робочих станцій. Кожен комп'ютер має безліч можливих шляхів сполучення з іншими комп'ютерами. Ця топологія допускає з'єднання великої кількості комп'ютерів і характерна, як правило, для великих мереж.

У середовищі OPNET була побудована модель багатоадресної передачі даних, яка складається з шести маршрутизаторів, кожен з яких пов'язаний один з одним (рис. 1). Такий зв'язок забезпечує безперервну роботу мережі і малоймовірну її перевантаженість. Це обумовлено тим, що існує кілька шляхів передачі інформації від одного маршрутизатора до іншого, оскільки мережа має достатню кількість переходів. Максимальна кількість переходів по мережі - п'ять. Загальна кількість переходів - 15. При побудові мережі використовувалися маршрутизатори Cisco4000 і кабель 100BaseT для їх зв'язку. Встановлено стандартні параметри маршрутизаторів, режим багатоадресної передачі даних і передбачена передача пакетів невеликого обсягу інформації (до 256 МБ). Далі була проведена симуляція, при якій обсяг даних був збільшений спочатку до 1 ГБ, а потім до 10 ГБ.

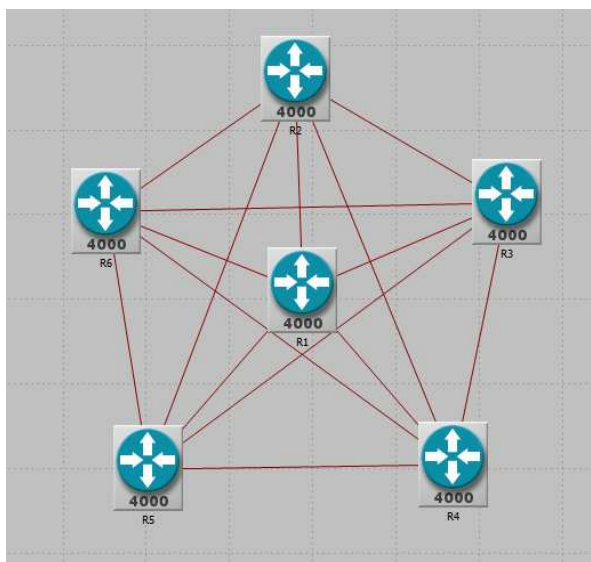


Рисунок 1 - Імітаційна модель в середовищі OPNET з використанням mesh-топології мережі

Робота мережі була протестована протягом 1, 10 і 30 хвилин. Отримано результати затримок при обробці пакетів і затримок від вузла до вузла, а також завантаженості мережі на кожному з переходів. При аналізі експериментальних даних моделювання було встановле-

но, що чим довше мережа знаходиться в роботі, тим більше збільшується час затримки при передачі пакетів, і, відповідно, завантаженість на окремих ділянках мережі, що негативно впливає на її подальшу роботу. На графіку затримок при обробці пакетів також спостерігаються зміни, але протилежні. На всіх маршрутизаторах в більшій чи меншій мірі відбулося зниження часу затримок обробки пакетів. Це свідчить про збільшення швидкості роботи мережі, але кількість пакетів теж збільшується, тому і виникає перевантаженість.

Отримані дані показали, що параметри якості обслуговування при використанні mesh-топології не залежать від розміру переданої інформації, але змінюються зі збільшенням часу роботи моделі. Використання нечіткої логіки при побудові маршрутизації дозволяє проводити якісні оцінки як вхідних, так і вихідних даних, робить можливим проведення порівняльного аналізу, тому розроблено імітаційну модель в середовищі MatLAB для подальшого дослідження.

Вхідними змінними є час роботи мережі, кількість переходів і обсяг переданих повідомлень, значення яких впливають на затримки, а вихідною змінною є завантаженість мережі. Значення вхідних і вихідних даних відповідають значенням представленої моделі. Для моделювання використовується система типу Сугено.

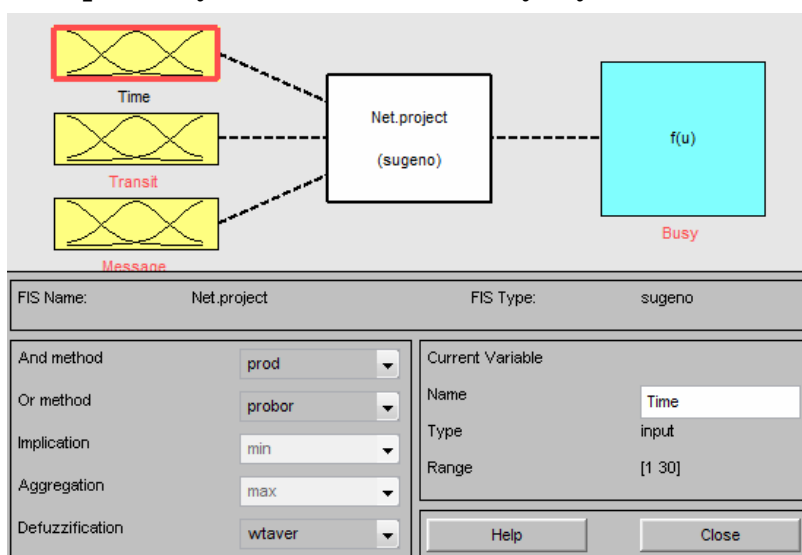


Рисунок 2 - Система нечіткого виводу в середовищі MatLAB

Використовується тип функцій приналежності - гаусівська. Вхідні функції приналежності:

1. Час роботи мережі «Time». Для даної функції використовуємо такі терм-множини - короткий час роботи мережі «Little» (1 хв.), середній - «Medium» (10 хв.) і тривалий - «High» (30 хв.).

2. Кількість переходів «Transit». Для даної функції використовуємо такі терм-множини - мінімальна кількість переходів «Min» (1), середня - «Middle» (2-4) і максимальна - «Max» (5).

3. Обсяг переданих повідомлень «Message». Для даної функції використовуємо такі терм-множини - повідомлення маленького обсягу «Small» (близько 256 МБ), середнього - «Average» (близько 1 ГБ) і великого - «Big» (близько 10 ГБ).

Вихідна функція - завантаженість мережі «Busy»; терм-множини - незначна завантаженість мережі «Low», нормальна - «Normal» та висока завантаженість мережі, що передуює перевантаження «Overload». Для визначення завантаженості мережі визначаємо інтервал [0 1], де 0 - мережа незначно завантажена, а 1 - висока завантаженість мережі. Складено поєднання залежності терм-множин - 27 комбінацій. Отримані результати залежностей наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Залежності терм-множин

№	Time	Transit	Message	Busy
1	High	Max	Big	Overload
2	High	Middle	Big	Overload
3	High	Min	Big	Normal
4	High	Max	Average	Overload
5	High	Middle	Average	Overload
6	High	Min	Average	Normal
7	High	Max	Small	Overload
8	High	Middle	Small	Normal
9	High	Min	Small	Normal
10	Medium	Max	Big	Overload
11	Medium	Middle	Big	Normal
12	Medium	Min	Big	Normal
13	Medium	Max	Average	Normal
14	Medium	Middle	Average	Normal
15	Medium	Min	Average	Low
16	Medium	Max	Small	Normal
17	Medium	Middle	Small	Normal
18	Medium	Min	Small	Low
19	Little	Max	Big	Normal
20	Little	Middle	Big	Normal
21	Little	Min	Big	Low
22	Little	Max	Average	Low
23	Little	Middle	Average	Low
24	Little	Min	Average	Low
25	Little	Max	Small	Normal
26	Little	Middle	Small	Low
27	Little	Min	Small	Low

За допомогою даних комбінацій визначено правила нечіткого виведення для моделювання даних залежностей. З 27 комбінацій отримали відповідно 27 правил нечіткого виводу.

Результати моделювання представлені в графічному вікні, де відображається хід логічного висновку по кожному правилу, результуюча нечітка множина і виконання процедури дефаззифікації.

Результати проходження процесу маршрутизації наступні: час роботи мережі - 15,5 хвилин, кількість переходів - 3, розмір переданого повідомлення - 5 ГБ. При цьому завантаженість мережі середня. Для аналізу адекватності розробленої нечіткої моделі використовуються поверхні нечіткого виведення, що дозволяє оцінити вплив двох з трьох вхідних нечітких змінних на вихідну нечітку змінну. Основною є залежність завантаженості мережі від часу її роботи, яка демонструє, що дані процеси мають прямо пропорційну залежність.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Аналіз завантаженості мережі з багато адресною передачею даних із застосуванням алгоритмів нечіткої логіки показав, що затримки в мережі при її безперервній роботі провокують перевантаження мережі. Щоб уникнути перевантаження і отримати можливості передачі великого обсягу даних протягом тривалого часу, мережа повинна мати високу пропускну здатність і достатньою кількістю переходів, щоб забезпечити мінімальні затримки від вузла до вузла і, відповідно, безперервну роботу мережі.

Параметри якості обслуговування при використанні mesh-топології в мережах не залежать від розміру переданої інформації, але змінюються зі збільшенням часу роботи моделі. Використання нечіткої логіки при аналізі завантаженості мережі з mesh-топологією дозволяє оптимізувати кількість переходів і обсяг переданих повідомлень, що в свою чергу підвищує якість обслуговування користувачів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд./ В.Г. Олифер, Н.А.Олифер – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
2. Гнатушенко, В.В. Оценка эффективности протоколов маршрутизации при доставке потоковых данных в самоорганизующихся беспроводных сетях [Текст] /В.В. Гнатушенко//Нові технології. – 2013. – Випуск 3-4 (41-42). – С. 100-103

3. Andreica, M.I. Data Distribution Optimization using Offline Algorithms and a Peer-to-Peer Small Diameter Tree Architecture with Bounded Node Degrees/ M.I.Andreica, E-D. Tirsă, N. Tapus//Proc. of the 17th Intl. Conf. on Control Systems and Computer Science (CSCS). – 2009. – Vol. 2.– pp. 445-452
4. Takizawa, H. Optimized Data Transfers Based on the OpenCL Event Management Mechanism / H. Takizawa, Sh. Hirasawa, M. Sugawara, I. Gelado, H. Kobayashi, Wen-mei W. Hwu // Scientific Programming.– 2015.– pp.356-371
5. Nyrkov, A.P. Algorithmic Support of Optimization of Multicast Data Transmission in Networks with Dynamic Routing / A.P. Nyrkov, A.S. Belousov, S.S. Sokolov // Modern Applied Science.– 2015.– 9 (5).– pp. 68-74
6. Чернышев, Ю.О. Алгоритм статической оптимизации передачи данных/ Ю.О. Чернышев, Н.Н. Венцов, С.А. Мухтаров// Известия Южного федерального университета. Технические науки.– 2013.– Выпуск № 7 (144).– С.147-161
7. Потуремский И. В. Оптимизация структуры сети Ethernet с точки зрения загруженности [Текст] / И. В. Потуремский, Д. А. Бородавкин // Молодой ученый. — 2010. — №9. — С. 73-77.
8. Лазарев, Е. А. Метод ветвей и границ для оптимизации структуры сети передачи данных/ Е. А. Лазарев, Д. Е. Шапошников, П. В. Мисевич // Известия волгоградского государственного технического университета.– 2012.– Выпуск № 14, том 10.– С.95-104
9. Balman, M. Hysteresis-based Optimization of Data Transfer Throughput / M. Balman, S. Byna, Brian L. Tierney // Proceedings of the Fifth International Workshop on Network-Aware Data Management (NDM '15).– NY: ACM New York, 2015 – pp.134-146
10. Gounaris, A. Robust Runtime Optimization of Data Transfer in Queries over Web Services /A. Gounaris, Ch. Yfoulis, R. Sakellariou, Marios D. Dikaiakos// International Conference on Data Engineering.– 2008.– pp. 596-605

Т.Н. Дубовик, И.А. Алпатова

КОГНИТИВНЫЕ МОДЕЛИ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИЕЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЛИЧНОСТИ. МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ. ЧАСТЬ 2

Аннотация: Статья посвящена решению актуальной задачи: повышения качества образования путем создания когнитивной модели с параметрической адаптацией. Данная модель представлена в форме регрессионного уравнения, которое связывает между собой показатели усвоения изучаемого материала с характеристиками личности. Адаптация модели осуществляется применительно к процессу изучения учебных дисциплин, определенных учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы". Разработан алгоритм построения когнитивных моделей. Произведена оценка продолжительности сохранения знаний для различных технологий обучения (с адаптивным тренажером и без тренажера)

Ключевые слова: глобальная иерархия, когнитивная модель, когорта, кластер, параметрическая адаптация, математическая модель, корреляция, рейтинг.

Введение. Для исследования влияния комплекса психофизиологических и интеллектуальных факторов на когнитивные процессы используется модель в форме регрессионного уравнения, которое связывает между собой показатели усвоения изучаемого материала (оценки, рейтинги) с характеристиками личности учащегося. [1]. Используется линейное регрессионное уравнение с k переменными. По результатам n выборочных наблюдений отыскиваются коэффициенты (параметры) $\hat{b}_i$ ($i = \overline{0, k}$) следующего регрессионного уравнения

$$y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_1 + \hat{b}_2 x_2 + \dots + \hat{b}_k x_k. \quad (1)$$

или в нормированных переменных

$$w = \frac{y - m_y}{\sigma_y}, \quad u_i = \frac{x_i - m_{x_i}}{\sigma_{x_i}},$$

уравнение (1) переходит в следующее

$$w = \hat{\beta}_1 u_1 + \hat{\beta}_2 u_2 + \dots + \hat{\beta}_k u_k. \quad (2)$$

Коэффициенты β_i в относительных величинах характеризуют степень влияния i -го фактора на результат [1].

Адаптация модели осуществляется применительно к процессу освоения учебных дисциплин, определенных учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы". Исходными данными служат: перечень изучаемых дисциплин, рейтинги этих дисциплин, перечень факторов, определяющих модель учащегося, тестовые оценки факторов, которые в модели входят в виде переменных, а коэффициенты при этих переменных являются параметрами модели, которые определяют уровень влияния факторов на когнитивные процессы. Данные об оценке этих факторов получаются на основе тестирования учащегося известными тестами [1].

1. Подготовка исходных данных. Для адаптации математической модели вида (1) к задаче исследования влияния характеристик личности на когнитивные процессы при изучении комплекса дисциплин в соответствии с учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы" используются данные об интегральных рейтингах дисциплин учебной программы в целом и по каждому из трех сформированных кластеров. Результаты расчета рейтингов по кластерам приведены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1

Средние значения рейтингов дисциплин кластера1 для групп контроля и эксперимента (1-контроль, 2-эксперимент с тренажером адаптивным, 3-эксперимент с тренажером неадаптивным)

№	Дисциплина	Кредиты, кр	Рейтинг1, y_{i1}	Рейтинг2, y_{i2}	Рейтинг3, y_{i3}
1	Програмування	5	$77 \pm 4,8$	$82 \pm 6,6$	$80 \pm 4,6$
n	...	...	...	...	...
15	Захист інформації у комп'ютерних системах	4,5	100	$89 \pm 7,4$	$88 \pm 5,8$
16	Логічне програму- вання	1,5	76	$79 \pm 3,6$	$78 \pm 7,9$

Таблица 2

Средние значения рейтингов дисциплин кластера2 для групп контроля эксперимента (1-контроль, 2-эксперимент с тренажером адаптивным, 3-эксперимент с тренажером неадаптивным)

№ №	Дисциплина	Кредиты, кг	Рей- тинг1, y _{i12}	Рей- тинг2, y _{i22}	Рейтинг3, y _{i32}
11	Прикладная теория цифровых автоматов	5,5	77± 5,8	82± 4,2	79± 8,8
22	Дискретная математика	6	93	84± 2,1	81± 3,6
nn	...	...	...	...	...
11 5	Теория распознавания образов	4	84	80± 3,4	78± 7,6
16	Теория информации и кодирования	2	82	81± 4,3	79± 6,3

Таблица 3

Средние значения рейтингов дисциплин кластера3 для групп контроля и эксперимента (1-контроль, 2-эксперимент с тренажером адаптивным, 3-эксперимент с тренажером неадаптивным)

№	Дисциплина	Кредиты, ks	Рейтинг1, y _{i13}	Рейтинг2, y _{i23}	Рейтинг3, y _{i33}
1	Комп'ютерна електроніка	3	74± 3,8	78± 6,2	75± 4,4
2	Комп'ютерна схемотехніка	4	81		
n	...	...	...	...	...
11	Проектування мікропроцесорних систем	3.0	100	97± 3,2	99± 1,1
12	Проектування комп'ютерних систем діагностики	6	93	94± 1,4	92± 6,2

На основании этих исходных данных с целью ранжирования дисциплин учебной программы выполняется иерархическое построение дисциплин каждого из кластеров. Для этой цели вычисляются

модифицированные рейтинги дисциплин по формуле (индексы опущены):

$$y_{\text{mod}} = k * y \quad (3)$$

Этой формулой учитывается объем учебного курса, здесь k продолжительность изучения дисциплины в кредитах. Далее выполняются вычисления и строятся ранжированные списки дисциплин по критерию y_{mod} . Из полученных данных для дальнейшего построения когнитивных моделей выбираются по три представителя каждого кластера с максимальным, минимальным и средним значениями модифицированных рейтингов дисциплин, соответственно. Обозначения тестируемых психофизиологических факторов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Обозначения психофизиологических факторов
в математических моделях

Параметр	1	2	3	4	5	6	...	n
Обозначение, x_j	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	...	x_n

x_1 – интеллектуальный тест IQ

x_2 – уровень подготовки, определяется результатами аттестации по дисциплинам, по которым учащийся аттестован.

x_{21} – уровень подготовки по кластеру 1, x_{22} – по кластеру 2, x_{23} – по кластеру 3.

x_3 – эмоциональная устойчивость.

x_4 – короткая память;

x_5 – долгая память.

.....

x_n – лабильность.

2. Ранжирование факторов влияния

Для предварительной иерархической оценки влияния психофизиологических факторов на когнитивные процессы используется корреляционный анализ. Строятся матрицы коэффициентов парной корреляции для различных сочетаний дисциплин и факторов для каждой из трех когорт. Определяются средние значения коэффициентов корреляции по каждому фактору (суммирование по дисциплинам в каждом кластере) для всех когорт. Далее выстраиваются факторы в иерархической зависимости от средних значений коэффициентов кор-

реляции. Таким образом, определяются: приоритетные факторы по кластерам, средние значения по всем дисциплинам (сумма трех кластеров) и определяется соответствующий иерархический порядок факторов влияния (они же факторы адаптации), назовем этот порядок глобальной иерархией. Производится расчет следующих матриц корреляции между факторами x_j и оценками y_{ij} , i – номер дисциплины, j – номер фактора (при необходимости привязки к кластеру появляется верхний индекс $y_{ik}^1, y_{ik}^2, y_{ik}^3$): кластер 1, когорты 1,2,3, соответственно – M_{11}, M_{12}, M_{13} , кластер 2, когорты 1,2,3, соответственно – M_{21}, M_{22}, M_{23} , кластер 3, когорты 1,2,3, соответственно M_{31}, M_{32}, M_{33} . Иллюстративный материал приведен в табл. 5, 6, для кластера 1 и двух когорт, матрицы M_{11}, M_{12} . Аналогичный вид имеют таблицы для кластеров 2 и 3.

Таблица 5

Матрица M_{11} коэффициентов
парной корреляции (кластер1, когорта1)

X_1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}	Y_{51}	Y_n	Y_{161}	среднее по Y	разброс по Y
X_1	0,11	0,22	0,13	0,11	0,22	...	0,11	0,14	$\pm 0,12$
X_2	0,42	0,42	0,52	0,42	0,42	...	0,31	0,40	$\pm 0,07$
X_n						...			
Средн. по факторам	0,39	0,41	0,37	0,39	0,41	...	0,13		
Разброс	$\pm 0,20$	$\pm 0,17$	$\pm 0,19$	$\pm 0,20$	$\pm 0,17$		$\pm 0,16$		

Таблица 6

Матрица M_{12} коэффициентов
парной корреляции (кластер1, когорта2)

Факторы	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	...	Y_{2m}	Среднее по Y	Разброс по Y
X_1	0,11	0,22	0,13	0,11	0,21			0,14	$\pm 0,12$
X_n	...								
Средн. по факторам	0,39	0,41	0,37	0,17	0,15				
Разброс	$\pm 0,20$	$\pm 0,17$	$\pm 0,19$	$\pm 0,21$	$\pm 0,18$				

3. Построение моделей

На основе феноменологического анализа коэффициентов парной корреляции (см. табл. 5 и 6) по средним значениям их модулей определяются приоритетные факторы влияния на рейтинги (усвоение) рассматриваемых дисциплин.

Введем следующие обозначения: r_{11} – коэффициент корреляции между параметром X_1 и переменной Y_{ij} , Для рассматриваемого примера таковыми являются (кластер1) фактор1 ($r = 0,39$), фактор3 ($r = 0,41$) и фактор7 ($r = 0,45$). Для дисциплин кластера 2 фактор1 ($r = 0,49$), фактор4 ($r = 0,51$) и фактор7 ($r = 0,49$). Для дисциплин кластера 3 – фактор1 ($r = 0,59$), фактор3 ($r = 0,41$) и фактор8 ($r = 0,55$).

Для уровня корреляционных связей между рейтингами различных дисциплин и психофизиологическими факторами $r > 0,5$, выделяются факторы и дисциплины для дальнейшего анализа. Для анализа степени влияния выбранных факторов, с учетом введенных обозначений, используются уравнения (1) множественной регрессии в форме: (это уравнение надо переписать в введенных обозначениях для трех когорт)

$$W_j = \beta_1 U_1 + \beta_2 U_2 + \beta_3 U_3 + \dots \quad (4)$$

Это уравнение показывает какой относительный вклад в нормированный показатель успеваемости (рейтинг) W делает соответствующий психофизиологический фактор U_i . Количественной характеристикой этого вклада являются коэффициенты при i -х факторах среды β_i . Причем уровень совместного воздействия факторов характеризуется значением множественного коэффициента корреляции R . Оценка множественного коэффициента корреляции является мерой зависимости выходной переменной от входных переменных. Для этой оценки используется величина, имеющая распределение Фишера:

$$F = \frac{n-p}{p} \frac{R^2}{1-R^2} \quad 5)$$

где n – число наблюдений; p – число входных переменных. Статистика F имеет распределение Фишера с $n-p$ и p степенями свобод.

Для того, чтобы записать конкретные уравнения регрессии в форме (4) для каждой из исследуемых дисциплин u_i , в соответствии с предложенной методикой, необходимо отобрать те факторы x_j , ко-

которые оказывают наиболее значимое влияние на усвоение соответствующих дисциплин. С этой целью был выполнен корреляционный анализ. На основе анализа этих данных были выделены так называемые приоритетные факторы, коэффициенты парной корреляции которых с соответствующими рейтингами составили величину $r > 0,5$. Это условие, в соответствии с представлениями исследователя, может быть и более жестким. На этом основании были выбраны факторы для дальнейшего анализа; результаты такого выбора представлены в табл. 7). Эти данные позволяют определить параметры уравнений (1) для каждой исследуемой дисциплины. Этим самым определяются сочетания факторов, которые оказывают наибольшее влияние на усвоение соответствующей дисциплины.

Таблица 7

Коэффициенты корреляции приоритетных факторов для $r > 0,5$

	Y_1	Y_3	Y_4	Y_8	Y_{10}
X_3			0,52	0,54	
X_n	...				
X_{17}	0. 79	0,61	0,58	0,61	0,67

Следует отметить, что коэффициенты уравнения (1) имеют различные масштабы, которые определяются уровнем влияния фактора на усвоение дисциплины. Эта форма записи не позволяет оценить относительный вклад каждого фактора на эффективность усвоения соответствующей дисциплины. По этой причине был выполнен переход к нормированным переменным и тем самым к единому масштабу исследуемых величин коэффициентов. Переход к нормированным переменным позволяет количественно определить парциальный вклад каждого фактора при оценке совместного действия комплекса рассматриваемых факторов модели учащегося. Причем уровень совместного воздействия факторов среды характеризуется значением коэффициента множественной корреляции. Коэффициенты β_i в уравнении (4) характеризуют степень относительного влияния каждого фактора на результат на основании построенной когнитивной модели. Для выбранных факторов по условию для коэффициентов парной корреляции ($r > 0,5$) уравнение (2) для оценки эффективности (когорта 1) примет вид: $W_1 = 0,24U_8 + 0,63U_{10} + 0,09U_{11} + 0,69U_{12} + 0,24U_{14} + 0,69U_{17}$.

Коэффициент множественной корреляции $R = 0,83$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,69$. Для когорты 2 имеем:

$$W_1 = 0,24U_8 + 0,63U_{10} + 0,09U_{11} + 0,69U_{12} + 0,24U_{14} + 0,69U_{17}$$

Коэффициент множественной корреляции $R = 0,88$, $R^2 = 0,77$.

Значения коэффициентов множественной корреляции для всех когорт близки, что говорит о том, что психофизиологические факторы примерно одинаково влияют на когнитивные процессы вне зависимости от метода обучения [1,3].

4. Алгоритм построения когнитивных моделей.

1. На основе феноменологического анализа строятся кластеры дисциплин по объединяющим признакам, в примере это используемый в кластере методический подход (формализм исследования)

2. Формируются таблицы исходных данных на основе обработки соответствующих ведомостей успеваемости по дисциплинам учебной программы.

2. Вычисляются модифицированные рейтинги по всем дисциплинам каждого из кластеров.

3. Строятся ранжированные списки дисциплин по кластерам.

4. На основе феноменологического анализа выбирается набор факторов для тестирования.

5. Тестируются учащиеся и строится таблица значений для выбранного набора факторов [2, 4].

6. Вычисляются матрицы корреляции между дисциплинами и факторами.

7. На основе феноменологического анализа определяется критерий вида $r > r_{\text{lim}}$,

8. Для каждой дисциплины выбираются значимые в соответствии с критерием факторы.

9. С учетом выбранных факторов определяется структура уравнений (1) и (4), то есть определяется набор факторов для каждой из исследуемых дисциплин.

10. Выписываются уравнения для выбранных из ранжированных списков дисциплин для каждого кластера. В примере уравнения записываются для дисциплин с максимальным, минимальным и средним рейтингами в каждом из трех кластеров, 9 уравнений.

5. Задача прогноза. Далее представляет интерес оценка продолжительности сохранения знаний для различных технологий обу-

чения (с адаптивным тренажером и без тренажера). Это задача прогноза. Измеренные значения психофизиологических факторов при этом используются для настройки адаптивного тренажера. Для этих оценок используются данные тестирования знаний непосредственно после окончания обучения и спустя один год. На сопоставлении прогнозных значений знаний и значений рейтингов, полученных спустя один год посредством тестирования основана верификация моделей прогноза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубовик, Т.Н. Когнитивные модели с параметрической адаптацией к характеристикам личности. Методический аспект. Часть 1 / Т.Н. Дубовик, И.А. Алпатова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (98). – Дніпропетровськ 2015. – С. 63–71.
2. Дубовик, Т.Н. Использование тестовых систем для повышения качества обучения / Т.Н. Дубовик, О.В. Сергеева Д.Д. Дубовик // Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka: teoria i praktyka - 2012» Przemysł Nauka i studia. 2012 88 str. Стр. 31 33.
3. Дубовик Т.М.,. К вопросу об адаптации и настройке моделей обучения [текст]/ Т.Н. Дубовик, В.А. Семьонов //Региональный межвузовский сборник научных работ «Системные технологии» 3(86) 2013. – С.19–28.
4. Аванесов В.С., Хохолова Т.С., Ступак Ю.А., Потап О.Е., Чернявский В.Г., Плискановский С.А. Педагогические тесты. Вопросы разработки и применения [Текст] Пособия для преподавателей / В.С. Аванесов, Т.С. Хохолова, Ю.А. Ступак, О.Е. Потап, В.Г. Чернявский, С.А. Плискановский – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – 64 с.

В.Б. Мазуренко

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ
ДИСКРЕТНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ПРОЦЕССЕ
ДОЗИРОВАНИЯ БАКОВ КАЧАЮЩЕЙСЯ РАКЕТЫ**

Аннотация. Проведено исследование эффективности применения информационно-измерительной технологии на основе дискретного фильтра Калмана для обработки измерительной информации об уровне топлива в баках ракеты-носителя морского базирования. Критерий эффективности базируется на величине составляющей погрешности дозирования, связанной с качанием. Исследование выполнено путем компьютерного моделирования.

Ключевые слова: ракета-носитель, измерение уровня жидкости, фильтр Калмана

Существует задача измерения уровня жидкого топлива в баках качающейся ракеты-носителя (РН). Эта задача детально рассмотрена в работах [1] – [3] и отражает условия проведения дозирования РН «Зенит» космического ракетного комплекса «Морской старт» [4]. В работе [1], в частности, рассмотрена модель наполнения баков жидким топливом, измерения уровня топлива и дозирования баков в условиях неконтролируемых внешних воздействий в виде качания стартовой платформы, на которой установлена ракета, под воздействием морских волн. В работе [2] предложен метод повышения точности дозирования баков РН за счет обработки измерительной информации при помощи дискретного фильтра Калмана. Дальнейшее развитие указанный метод получил в работе [3], где представлен метод обработки с использованием информации об углах наклона стартовой платформы (СП), на которой установлена заправляемая ракета.

На основе упомянутых моделей и методов автором была построена дискретная имитационная модель процесса дозирования баков РН (включающего в себя процессы наполнения и измерения), выполняемого в условиях неконтролируемых внешних воздействий, а

также разработана информационно-измерительная технология (ИИТ) обработки измерительной информации об уровне топлива в баке. Для исследования вопроса об эффективности предложенных в [2] и [3] методов было выполнено моделирование работы системы дозирования РН без применения обработки измерительной информации и с обработкой информации в двух вариантах: ИИТ1 - без использования показаний приборов об углах наклона СП и ИИТ2 - с использованием этих показаний. Под эффективностью информационно-измерительной технологии в данном случае понимается отношение величины случайной составляющей погрешности дозирования, обусловленной качкой СП и дискретностью датчика, возникающей в случае отсутствия обработки измерительной информации, к величине этой же составляющей в случае применения ИИТ (при всех прочих равных условиях). Настоящая статья посвящена результатам данного моделирования.

В ходе моделирования исследовались:

- зависимости погрешности измерения уровня топлива от амплитуды качки в диапазоне амплитуд от 0 до 2-х градусов;
- зависимости погрешности дозирования баков РН от амплитуды качки в диапазоне амплитуд от 0 до 2-х градусов и в диапазоне амплитуд от 0 до 6-х градусов;

В ходе моделирования получены следующие результаты.

1. В результате моделирования процессов наполнения и измерения установлено:

1.1. Систематическая составляющая погрешности измерения в диапазоне изменения амплитуды качки от 0 до 2-х градусов практически постоянна как в случае отсутствия обработки сигнала, так и в случае применения ИИТ1 и ИИТ2.

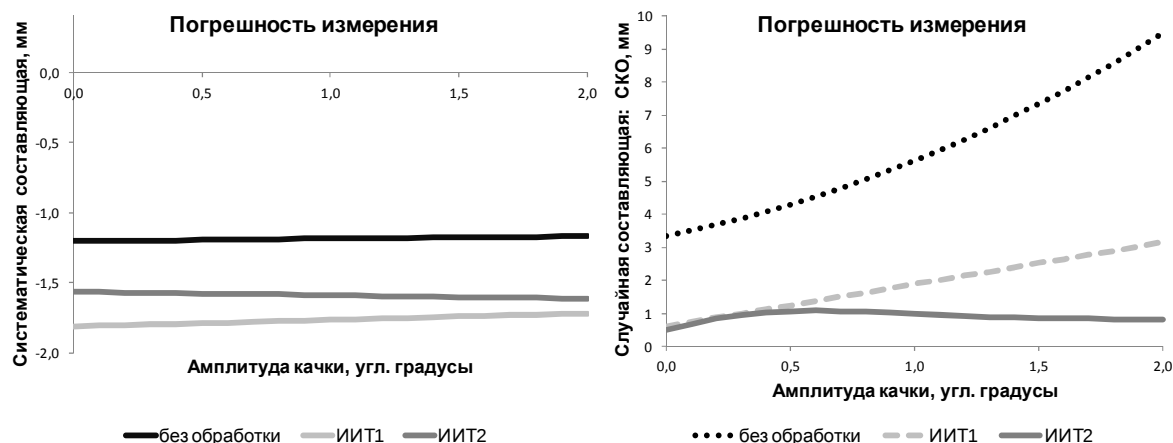


Рисунок 1 – Зависимость величины погрешности измерения от амплитуды качки

1.2. В случае отсутствия обработки измерительной информации случайная составляющая погрешности измерения, связанная с качкой и дискретностью датчика, имеет сильную зависимость от амплитуды качки: при амплитуде в один градус ее величина возрастает вдвое, а при амплитуде в 2 градуса – втрое относительно значения, полученного в условиях отсутствия качки.

1.3. Применение разработанной ИИТ существенно снижает величину случайной составляющей погрешности измерения, связанной с качкой и дискретностью датчика. При отсутствии качки происходит уменьшение среднеквадратического отклонения (СКО) в 6–7 раз. При амплитуде качки свыше 0,5 градусов уменьшение указанной составляющей погрешности в большей степени достигается в случае применения ИИТ2.

1.4. В случае применения ИИТ1 случайная составляющая погрешности измерения имеет зависимость от амплитуды качки, возрастающая по мере роста амплитуды.

1.5. В случае применения ИИТ2 случайная составляющая практически не зависит от амплитуды качки и ее СКО составляет примерно $0.8 \div 0.9$ мм, за исключением участка в районе амплитуды 0,5 градуса, где эта составляющая имеет плавный экстремум с максимальным значением около 1,2 мм.

Полученные по результатам моделирования зависимости качественно соответствуют реальному процессу измерения высоты уровня жидкости внутри бака дискретным датчиком уровня в условиях кач-

ки. Систематическая составляющая погрешности измерения в случае наличия периодических возмущений с нулевым математическим ожиданием не должна зависеть от амплитуды колебаний. Именно такое поведение системы зафиксировано в первом пункте результатов моделирования. В случае отсутствия фильтрации при увеличении величины возмущающих воздействий случайная составляющая погрешности измерения должна возрастать, что и констатируется вторым пунктом. Применение фильтрации должно привести к уменьшению погрешности и это подтверждается третьим пунктом. Если при фильтрации информация о возмущающем воздействии не используется, то погрешность измерения даже при применении фильтра будет зависеть от величины возмущающего фактора, что и показывают результаты моделирования (пункт 1.4). Если при работе фильтра используется вся информация о некотором возмущающем факторе, то погрешность измерения системы должна стать независимой от действия этого фактора. При моделировании получен именно этот результат (см. пункт 1.50). Наличие максимума случайной составляющей погрешности измерения при амплитуде качки 0,5 градуса объясняется тем, что размах колебаний поверхности топлива внутри гидроуспокоителя датчика при этой амплитуде оказывается равен дискретности датчика, в результате чего характеристики двух разных видов возмущения оказываются близки между собой. Это совпадение приводит к особенностям функционирования ИИТ.

2. Моделирование процесса дозирования (совместно с процессами наполнения и измерения) в диапазоне амплитуд качки от 0 до 2-х градусов показало следующее.

2.1. Зависимость случайной составляющей погрешности дозирования, обусловленной качкой СП и дискретностью датчика, от амплитуды качки в целом повторяет зависимость для соответствующей составляющей погрешности измерения, особенности которой были рассмотрены выше.

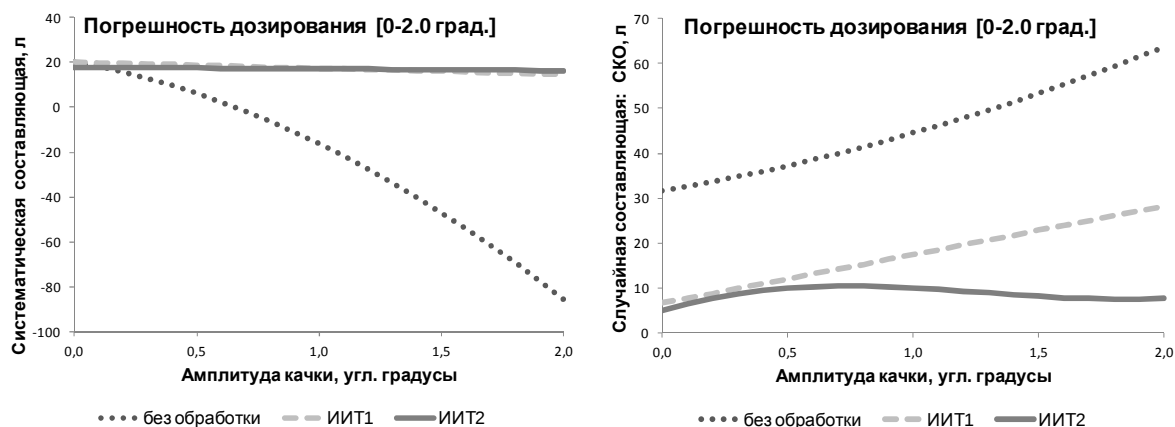


Рисунок 2 – Зависимость величины погрешности дозирования от амплитуды качки в диапазоне амплитуд от 0 до 2-х градусов

2.2. Систематическая составляющая погрешности дозирования, обусловленной качкой СП и дискретностью датчика, в случае отсутствия обработки измерительной информации в значительной мере зависит от амплитуды качки, что существенно отличает ее поведение от поведения соответствующей составляющей погрешности измерения (см. пункт 1.10). Начальное значение при отсутствии качки составляет около 20 литров. При 0,6 градусах амплитуды качки величина этой составляющей принимает отрицательное значение, а при 2-х градусах ее значение опускается до –80 литров. В целом, эта зависимость описывается кривой второго порядка, достаточно близкой к прямой линии. Значения систематической составляющей погрешности дозирования с отрицательным знаком отражают тот факт, что система дозирования с релейной логикой формирования команд (без обработки сигнала) выдает команду на отсечку дозы в момент, когда поверхность топлива в процессе колебаний внутри датчика находится в верхней полуволне синусоиды, достигая наивысшей точки или точки близкой к ней. То есть, всегда имеет место некоторое упреждение в выдаче команды на прекращение заправки. И чем больше размах колебаний – амплитуда качки СП, тем больше это упреждение.

2.3. В случае применения ИИТ1 систематическая составляющая погрешности дозирования, обусловленная качкой СП и дискретностью датчика, имеет слабую зависимость от амплитуды качки, снижаясь с 20 до 15 литров при изменении амплитуды от 0 до 2-х градусов под действием тех же факторов, что были рассмотрены в пункте 2.2, значительно ослабленных из-за фильтрации.

2.4. В случае применения ИИТ2 систематическая составляющая погрешности дозирования, обусловленная качкой СП и дискретностью датчика, не зависит от амплитуды качки и составляет величину порядка 17 литров.

Таким образом, результаты моделирования и ожидаемое прохождение процесса дозирования качественно совпадают, тем самым подтверждается адекватность используемой модели.

3. Анализ результатов моделирования процесса дозирования (совместно с процессами наполнения и измерения) в диапазоне амплитуд качки от 0 до 6-ти градусов показал следующее:

3.1. При наличии качки СП в рассмотренных пределах от 0 до 6 градусов разработанная ИИТ функционирует устойчиво.

3.3. Зависимость величины составляющей погрешности дозирования, обусловленной качкой и дискретностью датчика, от амплитуды качки СП в диапазоне от 0 до 6-ти градусов в целом продолжает тенденции, характерные для этой зависимости в диапазоне от 0 до 2-х градусов, которая была рассмотрена ранее.

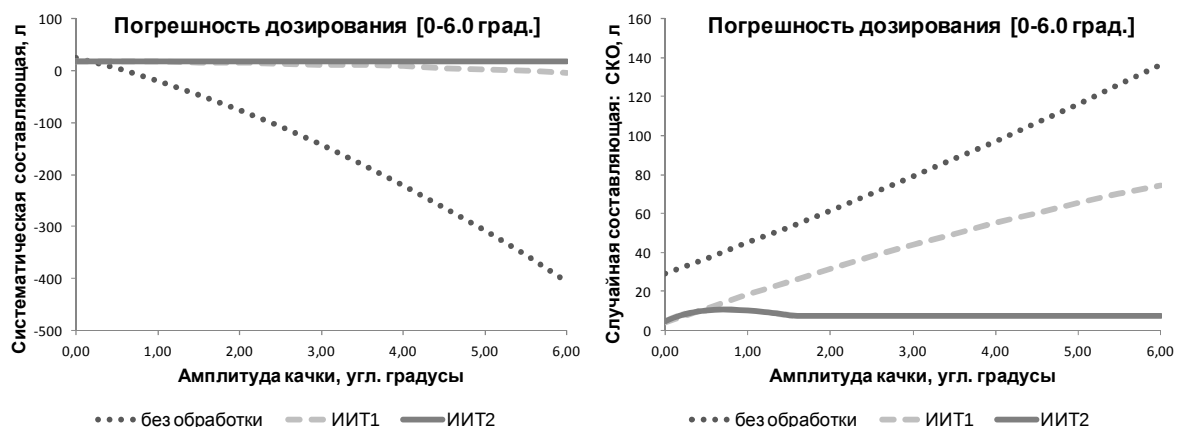


Рисунок 3 – Зависимость величины погрешности дозирования от амплитуды качки в диапазоне амплитуд от 0 до 6-ти градусов

4. Ниже представлены результаты исследования эффективности, полученные на основе приведенных выше результатов моделирования.

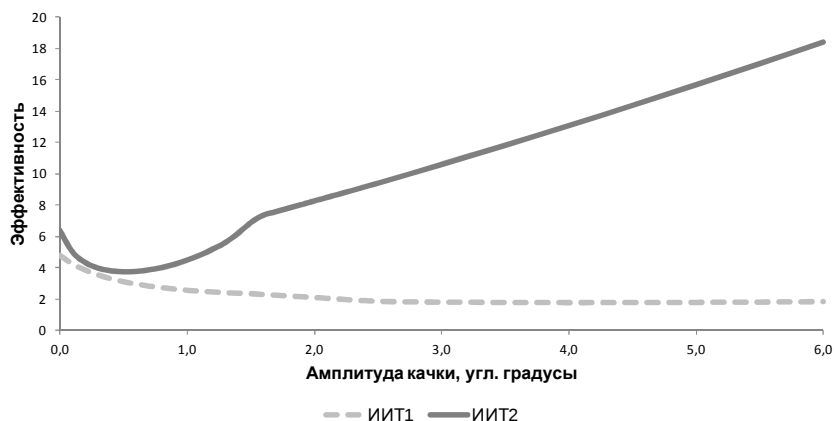


Рисунок 4 – Зависимость эффективности разработанной ИИТ от амплитуды качки СП

4.1. График зависимости эффективности применения информационно-измерительной технологии в двух ее конфигурациях (ИИТ1 и ИИТ2) от амплитуды качки представлен на рисунке 3.

4.2. Эффективность ИИТ1 максимальна (~5 единиц) при отсутствии качки и постепенно снижается при увеличении амплитуды качки, достигая постоянного значения около 1,8 ед. при амплитуде качки выше 2-х градусов.

4.3. Эффективность ИИТ2 при отсутствии качки составляет около 6 единиц и постепенно снижается при увеличении амплитуды качки до минимального значения 3,7 при амплитуде качки 0,5, после чего эффективность начинает расти, достигая при 2-х градусах 8-ми единиц, и далее линейно возрастает со скоростью около 2,5 ед./градус. При 6-ти градусах эффективность ИИТ2 составляет 18 единиц.

4.4. Эффективность ИИТ1 и ИИТ2 на интервале от 0 до 0,5 градусов практически одинакова. Существенное отличие в эффективности заметно в условиях качки с амплитудой порядка одного градуса. При этой амплитуде эффективность ИИТ1 составляет 2,5 ед., а ИИТ2 – 4,5 ед.

В завершение укажем, что результатом моделирования, представленного в настоящей статье, является следующее:

1. Предложенный метод обработки измерительной информации и построенная на его основе информационно-измерительная технология в обеих конфигурациях (с использованием информации об углах

наклона стартовой платформы и без использования этих показаний) работоспособны и эффективны.

2. Эффективность обоих вариантов информационно-измерительной технологии в условиях качания ракеты совместно со стартовой платформой при амплитуде качки до 0,5 градуса практически одинакова. Существенное отличие в эффективности (в пользу варианта с использованием показаний об углах наклона стартовой платформы) проявляется при амплитуде качки порядка одного градуса и выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазуренко В.Б. Модель процесса измерения уровня жидкого топлива в условиях качки // Системні технології Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 5 (94). - Дніпропетровськ, 2014.
2. Мазуренко В.Б. Применение дискретного фильтра Калмана для решения задачи измерения уровня жидкого топлива в условиях качки // Системні технології Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 6 (95). - Дніпропетровськ, 2014.
3. Мазуренко В.Б. Использование информации об углах наклона платформы при обработке данных измерений уровня жидкого топлива дискретным фильтром Калмана // Системні технології Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (98). - Дніпропетровськ, 2015.
4. Sea Launch Company, LLC. User's Guide, Revision C. 2003. D688-10009-1

К.Ю. Островська, Є.В. Островський, С.В. Волков
**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АСИНХРОННОЇ РЕПЛІКАЦІЇ
ДЛЯ ПОБУДОВИ РБД З ЗАДАНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ**

Анотація. Розглянуто моделі синхронної та асинхронної реплікації розподілених баз даних з заданою топологією. Розроблено алгоритм асинхронної реплікації для побудови РБД з заданою топологією.

Ключові слова: алгоритм, реплікація, тиражування, топологія, база даних.

Сучасні інформаційні системи пред'являють досить високі вимоги до швидкості обробки інформації за умови одночасної роботи великої кількості клієнтів. Крім того, розвиваючись, такі системи повинні легко масштабуватись без шкоди для швидкісних характеристик системи.

Один із способів задоволення цієї потреби - створення розподіленої бази даних БД, що підтримує механізм асинхронної реплікації даних. У цьому випадку замість однієї БД, з якою повинні працювати всі клієнти інформаційної системи, створюється кілька однакових серверів БД на різних машинах і / або вузлах мережі. Клієнти мають доступ до деякого розподіляє пристрою (реалізованому апаратно або програмним методом), яке при підключенні нового клієнта оцінює завантаження кожного сервера БД і направляє клієнта до найменш завантаженому сервера, з яким він (клієнт) і буде працювати до від'єднання.

Питання побудови розподіленої бази даних єдиної інформаційної системи виникають і при розвитку компанії, коли створюються віддалені філії, магазини і склади. Кожна віддалена інформаційна система з метою підвищення стійкості повинна працювати самостійно, періодично відправляючи в Центральний офіс консолідовану інформацію. Для виключення людського фактора в питанні періодичної синхронізації інформації бази даних повинні бути включені в загальну систему реплікації.

Реплікація даних між серверами баз даних може виконуватися за допомогою вбудованих засобів СУБД або може бути реалізована в рамках бізнес-логіки додатків. Реплікація за допомогою вбудованих засобів СУБД передбачає наявність надійних каналів зв'язку. Пропускна здатність цих каналів повинна бути досить високою, щоб встигати передавати всю інформацію, що реплікується в realtime-режимі. Процес реплікації в СУБД заснований на поняттях "видавець", "передплатник", "стаття". Налаштування реплікації зводиться до установки відносин між видавцем і передплатником. Недоліком даної реплікації є односпрямованість. Тобто стаття (фактично це таблиця) може передаватися від видавця передплатнику. При цьому передплатник не може її змінювати.

Реалізації процесів реплікації на рівні бізнес-логіки значно ускладнює життя розробнику, але дозволяє значно оптимізувати сам процес передачі інформації. Проблема реплікації інформації являє собою досить нетривіальну задачу з вельми неоднозначним рішенням. Приступаючи до вирішення завдання реплікації даних, необхідно брати до уваги, що доведеться зіткнутися з конфліктами репліцируемой даних, яких для баз даних, що працюють в єдиній мережі прямого конекту до сервера бази даних, не виникає в принципі. Особливо складний перехід від єдиної бази до розподіленої, коли доводиться підлаштовувати алгоритм реплікації під вже існуючу структуру працюючої БД. При розробці нової інформаційної системи необхідно враховувати технологічні нюанси майбутньої розподіленої бази даних.

Реплікація (англ. Replication) - механізм синхронізації вмісту декількох копій об'єкта (наприклад, вмісту бази даних).

Для підтримки цілісності розподіленої БД в СУБД Літер використовується механізм асинхронного тиражування (далі по тексту - реплікації) транзакцій.

Суть механізму асинхронного тиражування полягає в тому, що обробка даних виконується локально, а розподілені дані копіюються на той сервер, де вони повинні використовуватися. При такому методі підтримки логічної цілісності розподіленої БД має місце деяка рясинхронізація стану локальних БД в часі, тобто зміна стану однієї локальної бази даних відстає від зміни іншої локальної бази даних у часі.

Якщо один з серверів системи, що вимагають оновлення тиражованих даних, виходить з ладу, то система продовжує працювати з іншими, при цьому оновлення даних на сервері після його ремонту відбудеться автоматично, тобто помилка на одному вузлі глобальної мережі не вплине на роботу інших вузлів.

Механізм асинхронного тиражування транзакцій гарантує доставку змінених даних на вторинні сервери безпосередньо після завершення транзакції, якщо сервер доступний, або відразу після підключення сервера до мережі. Такий підхід передбачає зберігання дублюючої інформації в різних вузлах мережі і може забезпечити, в порівнянні з іншими підходами до реплікації, зниження трафіку, поліпшення часу відповіді системи, а також дозволяє оптимізувати навантаження на сервери.

Асинхронна реплікація, на відміну від двофазної синхронізації, не забезпечує повною синхронності інформації на всіх серверах в будь-який момент часу. Синхронізація відбувається через деякий, зазвичай невеликий, інтервал часу, величина якого визначається швидкістю відповідного каналу зв'язку. Для більшості завдань короткочасна наявність застарілих даних у віддалених вузлах цілком припустимо.

При синхронній реплікації, дані копіюються в межах однієї транзакції. Або іншими словами можна сказати, копіювання відбувається транзакція до транзакції. Зазвичай, цю модель використовує протокол two-phase commit. Цей протокол гарантує, що транзакція пройде послідовно по всіх базах даних. Оскільки зміни відбуваються в межах однієї транзакції, синхронна реплікація гарантує високу надійність і цілісність даних. Така транзакція або буде прийнята у всіх базах, або буде відкинута всюди.

Асинхронна реплікації копіює дані поза області транзакції. Копіювання може відбуватися протягом секунд, хвилин, годин і навіть днів, в залежності від вимог бізнесу. Хоча реплікація виконується запис в запис, вона може відбуватися і за транзакціями. Тобто, якщо відбуваються множинні зміни в межах однієї транзакції, вони можуть скопіювати як одна транзакція.

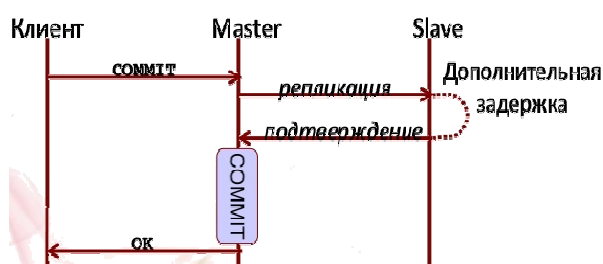


Рисунок 1 - Модель синхронної реплікації



Рисунок 2 - Модель асинхронної реплікації

Моделі зв'язків бази даних. Моделі зв'язків баз даних визначають, яким чином зміни в одній базі впливають на зміни інших баз в мережі. Нижче описані три такі моделі: розподілу даних, консолідації даних і однорангова модель, а також як вони пов'язані з реплікацією.

Модель розподілу даних. У розподіленої моделі, тільки одна база даних є основною. Всі зміни відбуваються саме в цій базі. Дані копіюються з неї в інші бази в мережі і мають статус «тільки для читання», тобто заборонено вносити зміни в них. З точки зору реплікації, головна перевага цієї моделі то, що це суттєво зменшує можливість конфліктів при зміні записів, тому що зміни відбуваються тільки в одній базі даних.

Виконання централізованої реплікації.

При централізованій реплікації, центральна база даних копіюється на безліч цільових баз даних. Централізована реплікація дозволяє наступне:

- Створення резервних баз даних в реальному часі.
- Гнучка можливості контролю часу реплікації
- Прозорий спосіб віддаленого резервного копіювання первинної бази даних.
- Реплікація здійснюється засобами after-image файлів і резервної копії центральної бази.

Розглянемо процес передачі змін:

1. При зміні даних в таблиці, що реплікується нові дані через тригер записуються в журнал змін. Крім того, туди заноситься ім'я таблиці, код зробленої зміни і первинний ключ зміненої записи.

2. При виникненні в базі певного події (наприклад при великій кількості записів в журналі змін) або в певний момент часу комунікаційний сервіс запускає процес реплікації.

3. Процес реплікації встановлює з'єднання з сервером підписки і починає синхронізацію даних.

4. Сервер підписки приймає змінену запис і модифікує відповідним чином таблицю на своєму боці.

5. Якщо в процесі зміни записи був згенерований новий ключ, то він передається на сервер реплікації.

6. Сервер реплікації замінює первинний ключ репліцируемой записи на ключ, що повертається з сервера підписки і видаляє відповідний запис з журналу змін.

На рисунку 3 представлено схему реплікації даних.

При передачі змін комунікаційним сервісом використовується протокол двофазної фіксації транзакцій (Two-phase commit transactions), що дозволяє застрахуватися від помилок.

При синхронізації даних подібним методом процес реплікації може бути перерваний у будь-який момент часу і продовжений пізніше з тієї ж точки. Дана особливість дозволяє використовувати таку схему тиражування навіть на дуже поганих каналах зв'язку.



Рисунок 3 - Детальна схема моделі реплікації даних

ЛІТЕРАТУРА

1. К. Дейт. Введение в системы баз данных, 6-е изд. Диалектика, 1998
2. А. Фаритов, А. Луковенко Практическая репликация, «Открытые системы», № 12, 2001

Д.С. Астахов

ФИЛЬТРАЦИЯ СИЛЬНО ЗАШУМЛЕННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация. Предложен усовершенствованный алгоритм вейвлет – фильтрации сигналов, уровень которых соизмерим с уровнем шумов. Показано, что применение предварительной частотной фильтрации позволяет получить большее соотношение сигнал-шум при дешумизации исходного сигнала.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, вейвлет-фильтрация, дешумизация, соотношение сигнал-шум.

Введение. Основная тенденция развития измерений в автоматизированном производстве - это переход к машинному контролю по адаптивным моделям, к применению более сложных управляющих и информационно-измерительных систем (ИИС).

В связи с этим резко возрастает значение метрологических характеристик измерительных каналов, учитывающих метрологические характеристики не только всех включенных в измерительный канал блоков, но и временные влияния каналов друг на друга.

Актуальность. Управление объектами в информационно-измерительных системах невозможно без знания об их текущем состоянии. Эти знания получают путем измерений параметров объекта. Получение исходной измерительной информации происходит в результате взаимодействия первичных измерительных преобразователей (сенсоров) с объектом измерений. Управление объектом осуществляется пропорционально закону изменения измеряемого параметра. В отдельных случаях управление осуществляется импульсным способом по наличию информационного сигнала. В процессе измерений на полезный сигнал всегда воздействует шумовая помеха. Иногда уровень помехи превышает уровень полезного информационного сигнала либо соизмерим с ним. В таком случае управление объектом существенно затрудняется. Для выделения сигнала на фоне шума традиционно используются частотные методы, которые основаны на выделении по-

лезного сигнала в определенном частотном диапазоне [1]. Лучший результат фильтрации дают корреляционные методы [2]. Однако, для их эффективной реализации необходимо как можно больше априорных знаний о полезном сигнале – таких как амплитудные и фазовые искажения. В настоящее время, в связи с развитием вычислительной техники, развиваются методы обработки сигналов не зависящие от их частотной структуры. К таким методам относится, например, вейвлет-фильтрация [3]. Для эффективного использования вейвлет-фильтрации достаточно иметь лишь самую общую информацию о характеристиках полезного сигнала. Например, метод фильтрации с использованием дискретного вейвлет-преобразования потенциально способен отделить регулярный сигнал от стохастических помех, в том числе весьма близких к спектру полезного сигнала [3].

Анализ последних достижений. В случае, когда информационным параметром о состоянии объекта является амплитуда сигнала, для системы вводится параметр разрешающая способность [5]. Различие сигналов происходит по сравнению их с пороговым значением, которое соответствует определенному состоянию объекта управления. Поскольку анализируемый сигнал состоит из суммы полезного и шумового сигнала, для надежного обнаружения сигнала от дефекта должны выполняться определенные энергетические соотношения между полезным сигналом и шумом. Для задач обнаружения используется отношение сигнал-шум (ОСШ):

$$q = \sqrt{\frac{2E}{N_0}} \quad (1)$$

где E – энергия полезного сигнала, N_0 – спектральная плотность шума. Данное соотношение определяет достоверность и объективность обнаружения. Чем больше значение q , тем выше вероятность правильного обнаружения $P_{ПО}$ и меньше вероятность ложной тревоги $P_{ЛТ}$. Связь между данными параметрами однозначно устанавливает критерий Неймана-Пирсона. Для одиночного сигнала со случайной начальной фазой [5]:

$$q = 2(\sqrt{\ln(1/P_{ЛТ})} + \sqrt{\ln(1/1 - P_{ПО}) - 1.4}) \quad (2)$$

и для полностью известного сигнала:

$$q = 2(\sqrt{\ln(1/P_{ЛТ}) - 1.4}) + \sqrt{\ln(1/1 - P_{ПО}) - 1.4}) \quad (3)$$

Погрешность вычислений по формулам (2) (3) не превышает 15% при $P_{ЛТ} \leq 0.1$, $P_{ПО} \geq 0.9$. Из формул (2) (3) видно, что для улучшения показателей обнаружения необходимо увеличивать q .

На практике значение спектральной плотности шума N_0 случайно в любой момент времени, но остается равномерной в частотном диапазоне полезного сигнала. Поэтому увеличение q возможно только за счет увеличения энергии сигнала. Например, путем увеличения амплитуды и/или длительности. Однако очень часто эти параметры сигнала жестко связаны с параметрами ИИС. И их изменение может привести к ухудшению технико-эксплуатационных характеристик ИИС. Поэтому для увеличения ОСШ следует обратить внимание на новые методы обработки сигналов, которые позволяют выделить полезный сигнал на фоне доминирующего шума.

К одним из методов выделения сигнала на фоне шума можно отнести вейвлет-фильтрацию. Традиционно для решения этих задач применяется известный из практики фильтрации метод подавления высокочастотных составляющих спектра. Кроме того, с использованием вейвлетов есть еще один метод – ограничение уровня детализирующих коэффициентов. Задав определенный порог для их уровня и «отсекая» коэффициенты ниже этого порога, можно значительно снизить уровень шума. Это равносильно заданию оптимального пути по дереву вейвлет-преобразования (ВП). Возможны различные типы порогов ограничения: мягкий или гибкий и твердый или жесткий. При этом устанавливаются различные правила выбора порога: адаптивный порог, эвристический, минимаксный и др. Но самое главное состоит в том, что пороговый уровень можно устанавливать для каждого коэффициента отдельно. Это позволяет строить адаптивные к изменениям сигнала способы очистки от шума [4].

Во многих случаях информация о состоянии объекта содержится в сигнале после его взаимодействия с объектом. Примером может служить система ультразвукового (УЗ) неразрушающего контроля (НК). В ней анализируется принятый сигнал, прошедший через объект контроля (ОК). Если на пути распространения УЗ сигнала встречается несплошность, то она обнаруживается по уменьшению амплитуды сигнала при огибании или по наличию отраженного сигнала. В обоих случаях решение о наличии несплошности принимается путем сравнения амплитуды принятого сигнала с некоторым поро-

говым значением. Амплитуда сигнала после взаимодействия с несплошностью зависит как от размера несплошности, так и от ее ориентации относительно фронта УЗ волны. Рассмотрим пример обнаружения сильно зашумленного УЗ сигнала, отраженного от несплошности.

Цель исследования. Целью исследования является создание алгоритма фильтрации на основе использования вейвлетов для увеличения соотношения сигнал-шум по сравнению с традиционной вейвлет-фильтрацией.

Экспериментальное исследование. На практике было исследовано обнаружение эхо-сигнала от искусственного дефекта. Объектом контроля была стальная пластина размером 140*180* 30 мм. На расстоянии 15 мм от края было просверлено торцевое отверстие диаметром 3 мм на глубину 15 мм. Функциональная схема экспериментальной установки изображена на рисунке 1.

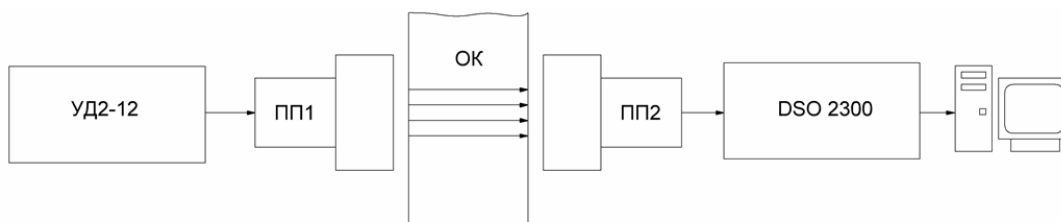


Рисунок 1 - Функциональная схема экспериментальной установки

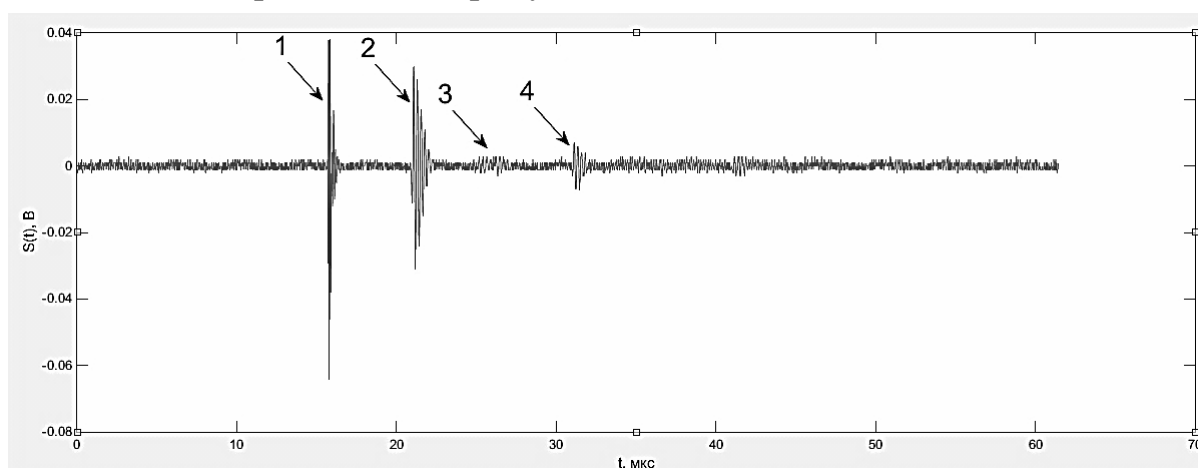
На рисунке 1: УД2-12 штатный УЗ дефектоскоп, который используется в качестве генератора зондирующих импульсов, ПП1 – излучаемый пьезопреобразователь, ОК – объект контроля, ПП2 – принимающий пьезопреобразователь, DSO2300 – цифровой USB – осциллограф, подключенный к персональной ЭВМ.

Дефектоскоп УД2-12 использовался в качестве генератора УЗ сигналов. Этот прибор позволяет получить УЗ сигналы с частотой 1.25, 1.8, 2.5, 5.0, 10,0 МГц. Зондирующие сигналы имеют вид прямоугольных радиоимпульсов длительность, которых соответствует одному периоду колебаний. Период повторения этих импульсов может быть 500 Гц или 1000 Гц. Пьезопреобразователи, которые использовались в эксперименте типа П111-5.0 - КН на рабочую частоту 5.0 МГц. В качестве приемника УЗ сигналов, аналого-цифрового преобразователя и передатчика полученных сигналов на персональный

компьютер использовался USB-осциллограф типа DSO2300. Устройство имеет следующие основные технические характеристики: частота дискретизации 50 МГц, вертикальная разрешающая способность 8 бит, объем буфера 6 кбайт. В комплекте прилагается фирменное программное обеспечение, которое позволяет наблюдать осциллограммы на экране персонального компьютера. А также оно позволяет записывать видимые осциллограммы в файлы типа txt либо xls. Что в дальнейшем позволяет легко их экспортировать в разные программы для математической обработки.

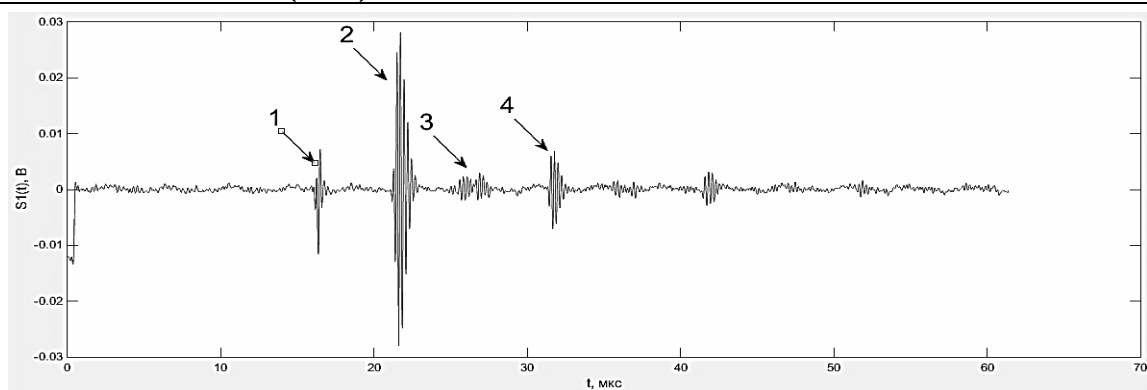
Частота зондирующих импульсов была установлена на 5 МГц, амплитудазондирующего импульса отрегулирована так, чтобы соотношение сигнал-шум на выходе приемника было равно 1-1.5. Такое соотношение соответствует высокому затуханию УЗ. С помощью приложенного программного обеспечения данные осциллограммы были сохранены в файл формата Microsoft Excel. Полученный вектор данных составил 3072 точек. Это соответствует длительности сигнала $T_c = 3071 \cdot T_d$, где $T_d = 2 \cdot 10^{-8}$ с - интервал дискретизации. Тогда длительность записанного сигнала $T_c = 3071 \cdot 2 \cdot 10^{-8} = 61.42$ мкс. Осциллограмма записанного цифрового сигнала $S(t)$ изображена на рисунке 2.

Далее, пропустили полученный сигнал через цифровой ФНЧ с полосой пропускания 10 МГц, частотой среза 12.5 МГц, затухание по частоте среза - 60 дБ. Осциллограмма сигнала $S_1(t)$, полученного на выходе ФНЧ приведена на рисунке 3.



- 1 - помеха от зондирующего импульса, 2 - первый сигнал, прошедший через пластину, 3 - сигнал, отраженный от дефекта, 4 - сигнал, отраженный от противоположной стенки пластины

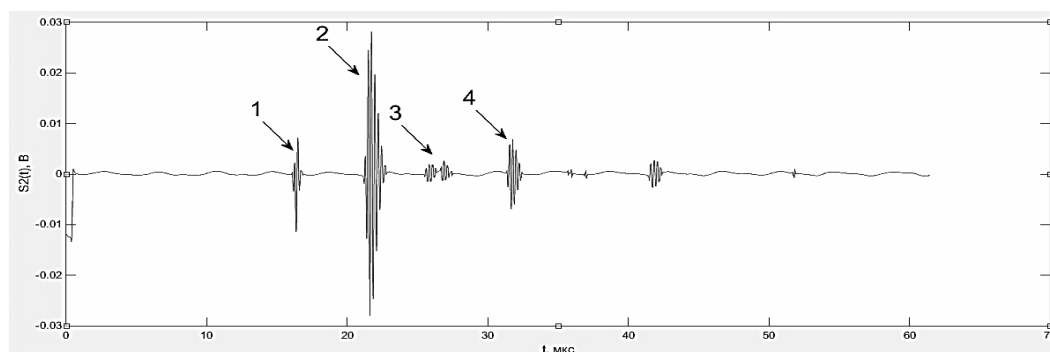
Рисунок 2 - Осциллограмма УЗ сигнала $S(t)$ с частотой 5 МГц



- 1 - помеха от зондирующего импульса, 2 - первый сигнал, прошедший через пластину, 3 - сигнал, отраженный от дефекта, 4 - сигнал, отраженный от противоположной стенки пластины

Рисунок 3 - Осциллограмма УЗ сигнала $S_1(t)$ после прохождения сигнала $S(t)$ через ФНЧ

После НЧ-фильтрации была проведена вейвлет-фильтрацию вейвлетом Хаара 5-го порядка. После вейвлет-фильтрации получим сигнал $S_2(t)$, осциллограмма которого изображена на рисунке 4.



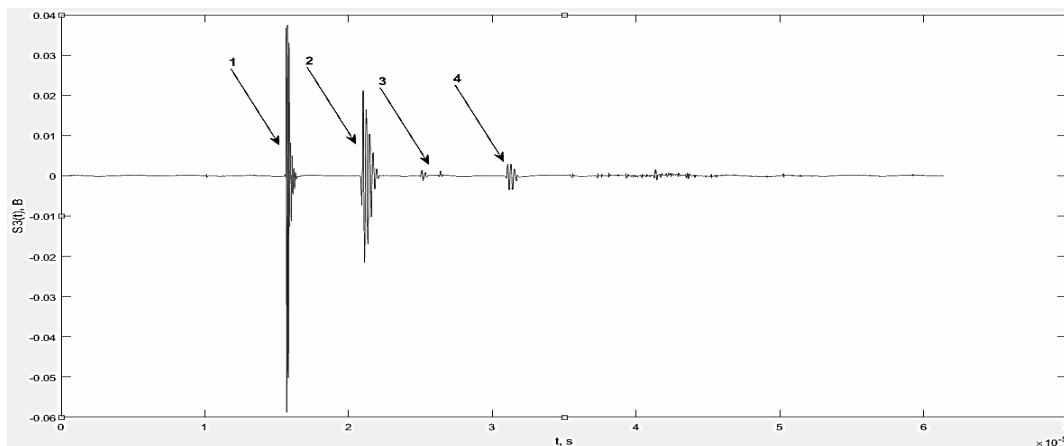
- 1 - помеха от зондирующего импульса, 2 - первый сигнал, прошедший через пластину, 3 - сигнал, отраженный от дефекта, 4 - сигнал, отраженный от противоположной стенки пластины

Рисунок 4 - Осциллограмма УЗ сигнала $S_2(t)$ после вейвлет-фильтрации сигнала $S_1(t)$ вейвлетом Хаара 5-го порядка

Как видно из рис. 4 соотношение сигнал-шум существенно изменилось в сравнении с сигналом $S(t)$. Имея такой сигнал можно успешно решать задачу обнаружения с помощью известных методов, которые широко используются в различных ИИС.

Для сравнения была проведена вейвлет фильтрация исходного сигнала $S(t)$ вейвлетом Хаара 5-го порядка. Осциллограмма полученного сигнала $S_3(t)$ изображена на рисунке 5. Видно, что сигнал (3),

отраженный от дефекта, слабо различим на фоне сигналов (2) и (4), и может быть пропущен обнаружителем.



1 - помеха от зондирующего импульса, 2 - первый сигнал, прошедший через пластину, 3 - сигнал, отраженный от дефекта, 4 - сигнал, отраженный от противоположной стенки пластины
Рисунок 5 - Осциллограмма УЗ сигнала $S_3(t)$ после вейвлет-фильтрации сигнала $S(t)$ вейвлетом Хаара 5-го порядка

Были проведены исследования по изменению ОСШ одиннадцати выборок измерений после НЧ-фильтрации сигнала $S(t)$, вейвлет-фильтрации исходного сигнала $S(t)$ и вейвлет-фильтрации сигнала $S_2(t)$. Результаты сравнения ОСШ приведены на рисунке 6.

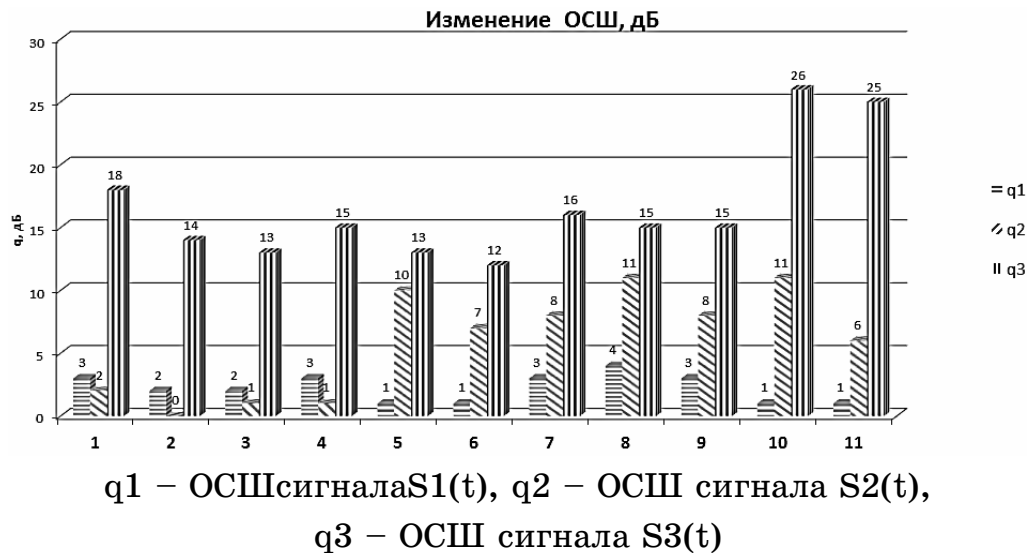


Рисунок 6 - Сравнение ОСШ при различных способах фильтрации

Анализируя данные, приведенные на рисунке 6, можно сделать вывод, что сочетание НЧ-фильтрации и вейвлет-фильтрации сигналов позволяет существенно улучшить ОСШ, на 3-19 дБ, по сравнению с

использованием только вейвлет-фильтрации. Полученный эффект можно объяснить отсутствием высокочастотных составляющих в спектре сигнала $S_2(t)$, которые не попадают в соответствующий скейлинг-фильтр при вейвлет-фильтрации.

Выводы. Предложен алгоритм фильтрации сигналов с низким соотношением сигнал-шум, который заключается в последовательном использовании частотной фильтрации и вейвлет-фильтрации. Применение предложенного алгоритма фильтрации позволит улучшить качественные показатели ИИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах: монография / И. И. Маркович; Южный федеральный университет. - Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2012. - 236 с.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. — М. Радио и связь, 1985. — 384 с., ил.
3. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
4. Алешин Н. П., Лупачев В. Г. Ультразвуковая дефектоскопия: Справ, пособие.— Мн.: Выш. шк., 1987.— 271 с.: ил.
5. Васин В.В., Степанов Б. М. Справочник задачник по радиолокации, М.: «Сов радио», 1977, 320 с.

С.С. Василів

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ СТЕНДОВОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЕТОНАЦІЙНИХ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ

Анотація. Проведено проектування силових вузлів стендового обладнання для здійснення випробувань детонаційних ракетних двигунів. Для виявлення динамічних факторів, що можуть впливати на точність вимірювань параметрів роботи двигунів здійснено моделювання навантажень і визначення власних частот конструкції.

Ключові слова: детонаційний ракетний двигун, стенд, моделювання, частоти коливань.

Вступ. Стенд вогневих випробувань – один з найважливіших елементів при відпрацюванні ракетного двигуна. Для підтвердження проектних параметрів і ефективності робочого процесу в камері згорання обов'язковою умовою є проходження натурних випробувань. Окрім того, в багатьох випадках немає можливості провести математичні моделювання, які задовільнили б конструкторів повною інформацією. Для двигунних установок, що випускаються серійно, характерним є підтвердження їх надійності, шляхом проведення натурних випробувань. Наприклад двигун РД-120, що використовується на других ступенях ракет-носіїв серії «Зеніт», проходить стендові вогневі випробування, а після заміни окремих піротехнічних вузлів - готовий до роботи в польоті [1].

Метою роботи є виявити форму і власні частоти коливань конструкції силової рами випробувального стенду, що може впливати на точність вимірювань при випробуваннях. Для цих цілей використовуються прикладні програмні пакети.

Роботи над створенням ракетних двигунів, які використовують детонаційний процес згорання палива в камері, ведуться в різних країнах давно [2-4]. Основною ідеєю, що спонукає вчених до пошуків у цьому напрямку, є вищий термодинамічний коефіцієнт корисної дії детонації в порівнянні з дефлаграцією. Окрім того, детонаційний

процес може відбуватися при відносно низьких значеннях тисків компонентів палива, що дозволяє відмовитись від важкого і складного турбонасосного агрегату, використовуючи просту витискувальну систему подачі [2]. Незважаючи на вище перелічені переваги, серійних двигунних установок поки немає. Останнє десятиліття можна охарактеризувати підвищеною увагою до цієї проблеми. Особливістю роботи детонаційних двигунів є імпульсний режим, або (в двигунах із газифікацією в спіновій детонаційній хвилі) циклічний динамічний характер навантаження конструкції і змінний вектор прикладення сили тяги. В таких умовах дуже складно точно визначити зусилля і, відповідно, імпульсні характеристики двигуна, тому доцільно використовувати маятникові стенди, які дозволяють фіксувати сумарний імпульс тяги.

В 80-х роках минулого століття в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України було створено експериментальну базу і зразки твердопаливних ракетних двигунів зі шнуровими подовженими зарядами. В рамках цієї роботи виявлено особливості функціонування таких установок, а також розроблено методику проведення експериментів. Досліди проводилися на маятниковому і імпульсному стенді (див. рис 1) [5].



Рисунок 1 - Випробувальні стенди ІТМ НАНУ і ДКАУ

Для проведення досліджень процесів у камері згорання детонаційних ракетних двигунів на рідкопаливних і газоподібних компонентах, такі установки потребують доопрацювання в плані дооснащення ємностями з основними компонентами палива і газами для продувки. Це в свою чергу накладає особливості на процес вимірювання тяги, а також впливає на його точність. З метою здійснення експериментів, було розроблено силову раму (див. рис.2). Для можливості роботи на двох різних стендах, конструкція спроектована з уніфікацією вузлів кріплення.

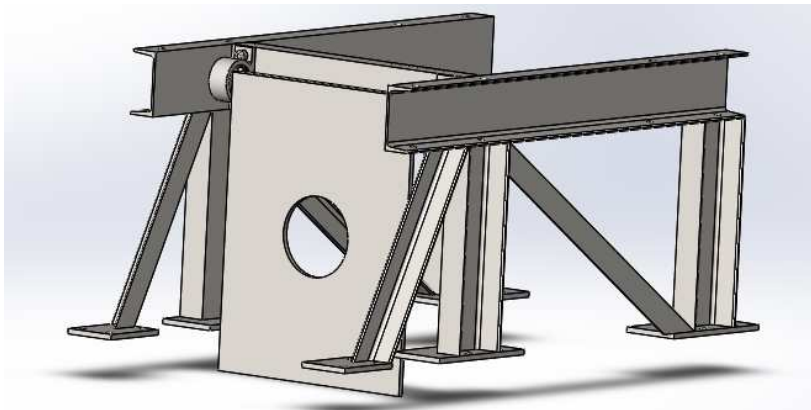


Рисунок 2 - Силовая рама

Перший варіант стенду - стаціонарний. Силовая рама кріпиться на бетонній основі, розміщений в металічній бронекамері. На столі розміщується модель детонаційного ракетного двигуна з газифікацією палива в спіновій детонаційній хвилі (див рис.3).

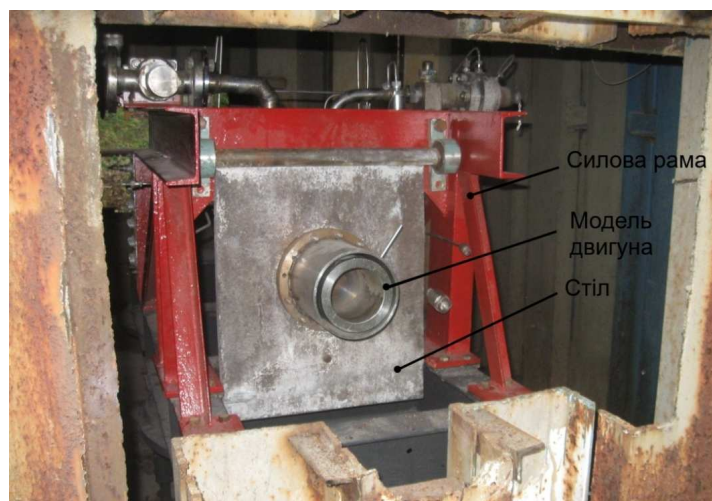


Рисунок 3 - Силовая рама з розміщеною на столі моделлю детонаційного ракетного двигуна з газифікацією палива в спіновій детонаційній хвилі

Другий варіант передбачає закріплення рами на тросах маятнікового стенду. При цьому стіл фіксується нерухомо, а до нижніх вузлів рами прикріплюються ложементи з балонами, наповненими газами. Така конструкція дозволяє досліджувати роботу імпульсних детонаційних двигунів. Комп'ютерна 3-D модель зображена на рис.3 з моделлю двигуна.

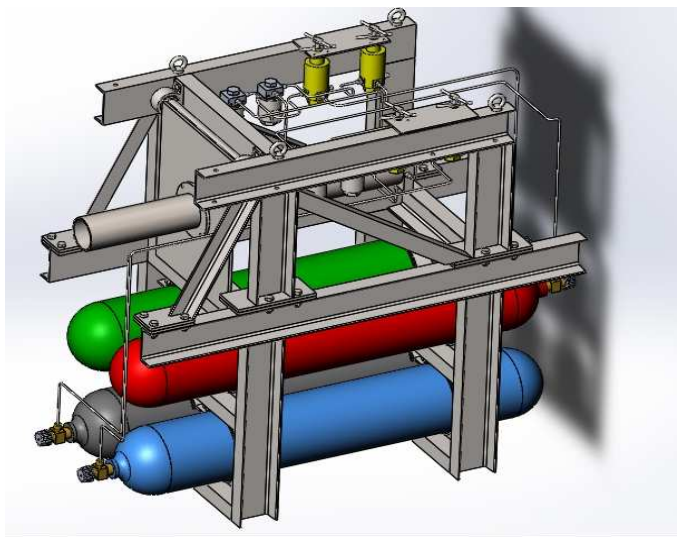
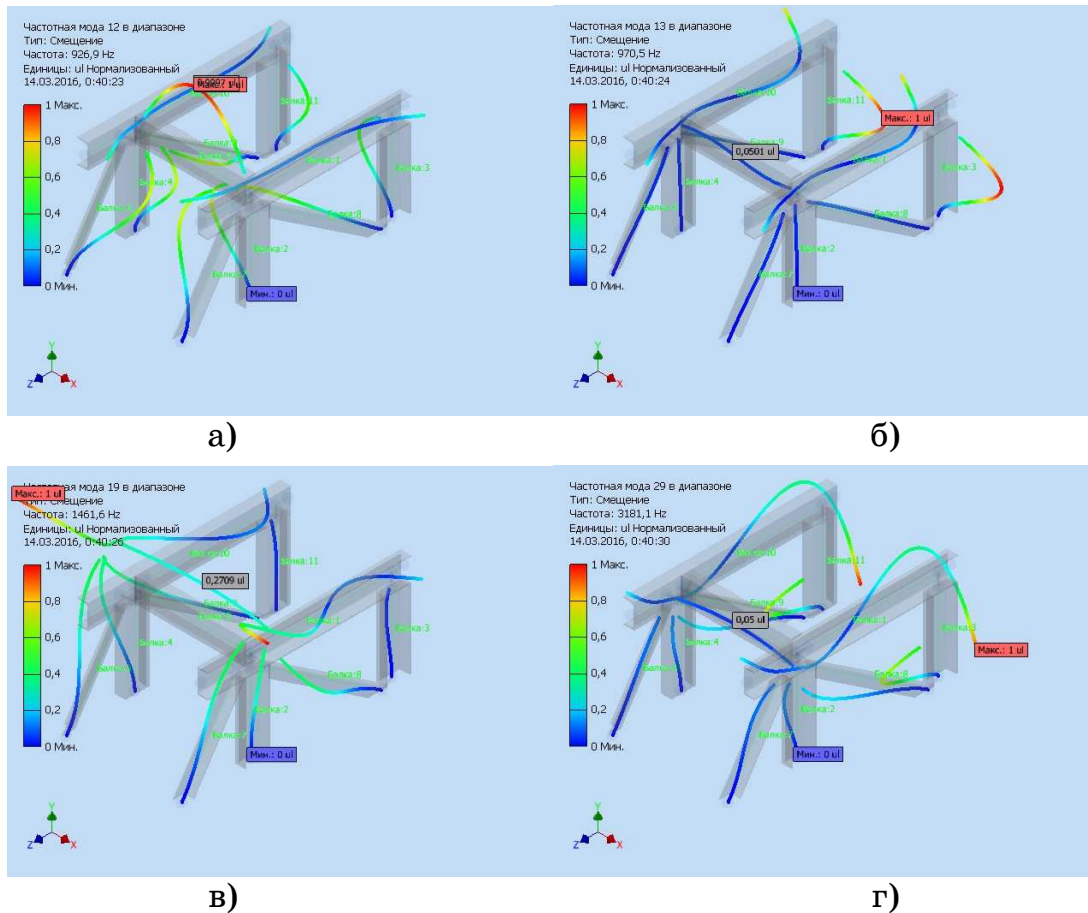


Рисунок 4 - Комп'ютерна 3-D модель силової рами з ложементами і двигуном

Важливою умовою в процесі вогневих випробувань є демпфірування коливань стенду, а також відсутність резонансу з частотами робочих процесів в камері згорання, чи з елементами випробовуваного двигуна [6]. Моделювання рами проводилося з метою апріорної компоновки вузлів пневмо-гідросхеми, а також для виявлення спектру частот власних коливань конструкції при максимальному навантаженні. Вихідними даними був діапазон вимірювань сили тяги 0-20000Н. Оскільки критерієм міцності є втрата жорсткості, то перевірочний розрахунок вівся по досягненню в елементах конструкції напружень, рівних межі текучості матеріалу профілів. Коефіцієнт запасу міцності при цьому ставить 10. Отримані форми втрати стійкості проаналізовані на предмет відповідності фізичній картині процесу і приближення частоти власних коливань до резонансної (див. рис. 5).

Для випадку випробувань імпульсного двигуна, що працює на газоподібних компонентах палива було проведено розрахунок кута відхилення маятника, у складі якого є силова рама з ложементами і балонами з газами, та власне модель. Очікуване (проектне) значення

сили тяги в цьому експерименті рівне 1500 Н. Для розрахунку було використано 3-D модель, що описана вище. Маса конструкції маятника склала 491,6 кг. Диференційне рівняння розв'язувалося при умові плоско-паралельного руху. Результат приведений на рис. 6.



Рисинок 5 - Візуалізована форма і величина амплітуди власних коливань при дії максимального навантаження

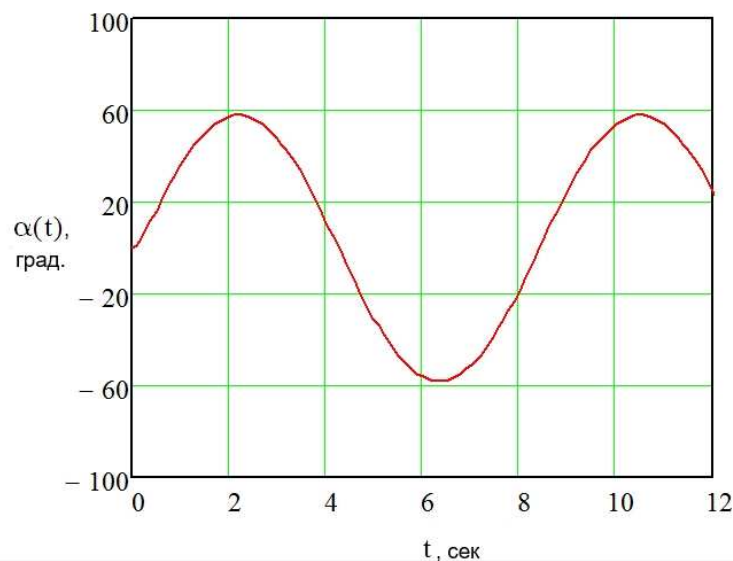


Рисунок 6 - Графік зміни кута нахилу тросів маятника від часу

Висновок. В роботі викладено проектні матеріали розробки елементів випробувального комплексу. Приведено результати комп'ютерного моделювання конструкції силової рами. Розраховано її частоти коливань для випадку максимального навантаження конструкції під час випробувань. Приведено графік зміни кута нахилу тросів маятника стенду при роботі моделі імпульсного детонаційного ракетного двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Галеев А.Г. Основы устройства испытательных стендов для отработки жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок. / А.Г. Галеев, –руководство для инженеров-испытателей, Изд-во ФКП «НИЦ РКП», 2010. – 180 с.
2. Импульсные детонационные двигатели / под ред. д.ф.-м.н. С.М. Фролова – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2006. – 592 с.
3. Shank Jason C. Development and testing of a rotating detonation engine run on hydrogen and air: thesis, presented to the Faculty Department of Aeronautics and Astronautics Graduate School of Engineering and Management Air Force Institute of Technology Air University Air Education and Training Command In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Aeronautical Engineering / Jason C. Shank. – USAF, 2012. – 70 p.
4. Быковский Ф.А. Непрерывная спиновая детонация / Ф.А Быковский., С.А. Ждан – Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013 – 423с.
5. Василів С.С. Розробка моделі для дослідження газифікації палива в спіновій детонаційній хвилі / Журнал «Вісник Дніпропетровського університету» серія «Ракетно-космічна техніка», Т22 №4 Вип. 17 том 1 ISSN 2409-4056 Дніпропетровськ, «Видавництво ДНУ», 2014 – 99 ст.
6. Персов Б.З. Расчет и проектирование экспериментальных установок. / Б.З. Персов, – Изд. 2-е, исправленное, – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2006. – 348с.

Р.В. Кирия, Т.Ф. Мищенко, Ю.В. Бабенко

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
АККУМУЛИРУЮЩЕГО БУНКЕРА В РЕЖИМЕ
ПОДДЕРЖАНИЯ ЗАДАННОГО ОБЪЕМА ГРУЗА
В СЛУЧАЕ ДВУХСКОРОСТНОГО ПИТАТЕЛЯ**

Аннотация. На основании кусочно-марковских процессов с непрерывным временем и дискретным состоянием разработана математическая модель функционирования аккумулярующего бункера в режиме поддержания заданного объема груза в нем в случае двухскоростного питателя. Получена зависимость среднего объема груза в бункере от производительностей питателя. Результаты аналитических исследований достаточно хорошо совпадают с результатами имитационного моделирования.

Ключевые слова: аккумулярующий бункер, математическая модель, режим функционирования, объем груза, двухскоростной питатель, ленточный конвейер угольной шахты.

Аккумулярующие бункеры получили широкое распространение в системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт.

Аккумулярующие бункеры предназначены для обеспечения независимой работы смежных технологических звеньев транспорта в периоды их аварийных отказов в работе или остановок по той или иной причине, а также для уменьшения влияния простоев конвейерных линий на работу очистных и подготовительных забоев. Применение аккумулярующих бункеров в системах подземного конвейерного транспорта позволяет значительно повысить пропускную способность и надежность их работы.

Для эффективной работы аккумулярующих бункеров в системе подземного конвейерного транспорта угольных шахт необходимо поддерживать в бункере объем груза в заданных пределах. Причем величина этих пределов зависит от места расположения бункера в системе конвейерного транспорта.

На угольных шахтах разгрузка бункера осуществляется с помощью питателя (рис. 1). В этом случае производительность разгрузки бункера может регулироваться путем включения и выключения питателя при постоянной его скорости или путем переключения скорости питателя.

В настоящее время для поддержания объема груза в бункерах в заданных пределах включение и выключение питателя или переключение с одной скорости питателя на другую осуществляется вручную.

Для повышения эффективности управления поддержанием в аккумулирующем бункере объема груза в заданных пределах необходимо применение компьютерных технологий на основе контроллеров. Для этого необходимо на основе математической модели процесса функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания объема груза в заданных пределах разработать алгоритм его оптимального управления.

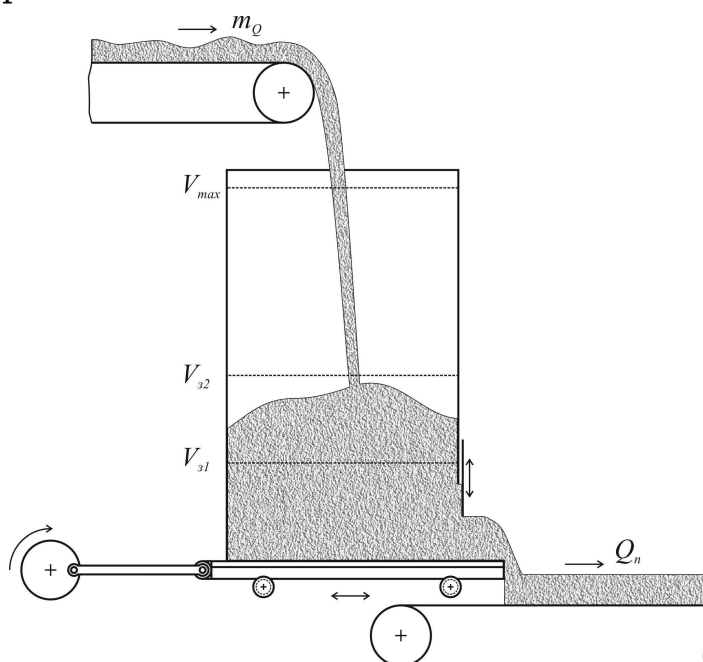


Рисунок 1 - Схема работы аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах

В работе [1] разработана математическая модель функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания заданного объема груза в нем с помощью включения и выключения питателя при неизменной его скорости. Однако математической модели функционирования аккумулирующего бункера, работающего в режиме

поддержания заданного объема груза в нем, при переключении питателя с одной скорости на другую не существует.

Целью статьи является математическое моделирование процесса функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах в случае двухскоростного питателя.

Рассмотрим случай разгрузки аккумулирующего бункера двухскоростным питателем в режиме поддержания заданного объема груза в нем.

В этом случае загрузка бункера осуществляется при меньшей скорости питателя, и при достижении максимального объема груза в бункере V_{32} включается другая, большая скорость питателя, а при достижении минимального объема груза в бункере V_{31} снова включается меньшая скорость питателя ($V_{31} < V_{32}$).

При этом производительность питателя Q_{n1} при его меньшей скорости меньше среднего значения грузопотока, поступающего в бункер m_Q , то есть $Q_{n1} < m_Q$, а при разгрузке бункера производительность питателя Q_{n2} больше m_Q , то есть $Q_{n2} > m_Q$.

В этом случае для определения среднего объема груза в аккумулирующем бункере, так же, как и в случае односкоростного питателя, разобьем время цикла загрузки и разгрузки бункера на время загрузки и время разгрузки [1]. При этом средняя производительность при загрузке бункера будет равна $m_Q - Q_{n1}$, а средняя производительность при разгрузке бункера равняется $Q_{n2} - m_Q$.

Проведя те же выкладки, как и для аккумулирующего бункера с односкоростным питателем, получим средний объем груза в аккумулирующем бункере в режиме поддержания заданного объема груза в нем при двухскоростном питателе в виде [1]:

$$V_c = \frac{V_{31}t'_3 + V_{32}t'_p}{t'_3 + t'_p} + \frac{(\bar{m}_Q - \bar{Q}_{n1}) \cdot t'^2_3 - (\bar{Q}_{n2} - \bar{m}_Q) t'^2_p}{2\rho(t'_3 + t'_p)}, \quad (1)$$

$$\text{где } \bar{m}_Q = \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1} m_Q; \quad \bar{Q}_{n1} = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} Q_{n1}; \quad \bar{Q}_{n2} = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} Q_{n2}.$$

Здесь t'_3, t'_p – средние времена цикла загрузки и разгрузки аккумулирующего бункера в случае двухскоростного питателя; λ_1, μ_1 – параметры экспоненциальных распределений времени работы и про-

стоя надбункерной конвейерной линии, 1/мин; λ_2, μ_2 – параметры экспоненциальных распределений времени работы и простоя подбункерной конвейерной линии, 1/мин.

Определим среднее время загрузки t'_3 и среднее время разгрузки t'_p аккумулирующего бункера в случае двухскоростного питателя.

В нашем случае процесс функционирования аккумулирующего бункера, работающего в режиме поддержания заданного объема груза в нем, описывается кусочно-марковским процессом [2]. Поэтому система уравнений относительно средних времен загрузки бункера имеет вид, аналогичный системе уравнений [1].

Следовательно, в случае разгрузки аккумулирующего бункера с помощью двухскоростного питателя система уравнений относительно средних времен загрузки бункера имеет вид:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\theta'_1}{dm} = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\theta'_1 + \lambda_1\theta'_2 + \lambda_2\theta'_3, \\ q'_2 \frac{d\theta'_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta'_1 - (\lambda_2 + \mu_1)\theta'_2 + \lambda_2\theta'_4, \\ q'_3 \frac{d\theta'_3}{dm} = 1 + \mu_2\theta'_2 - (\lambda_1 + \mu_2)\theta'_3 + \lambda_1\theta'_4, \\ q'_4 \frac{d\theta'_4}{dm} = 1 + \mu_2\theta'_2 + \mu_1\theta'_3 - (\mu_1 + \mu_2)\theta'_4, \end{cases} \quad (2)$$

где $\theta'_1, \theta'_2, \theta'_3, \theta'_4$ – средние времена заполнения заданного количества груза в бункер, соответствующие в начальный момент времени первому, второму, третьему и четвертому состояниям надбункерной и подбункерной конвейерных линий; m – текущее значение количества груза в бункере.

Здесь q'_1, q'_2, q'_3, q'_4 – значения скоростей изменения количества груза в аккумулирующем бункере, соответствующие первому, второму, третьему и четвертому начальным состояниям надбункерной и подбункерной конвейерных линий, т/мин.

При первом состоянии в начальный момент времени надбункерная и подбункерная конвейерные линии работают; при втором состоянии в начальный момент времени надбункерная конвейерная линия не работает, а подбункерная работает; при третьем состоянии в начальный момент времени надбункерная конвейерная линия работает, а подбункерная не работает; при четвертом состоянии в началь-

ный момент времени надбункерная и подбункерная конвейерные линии не работают.

Рассмотрим процесс загрузки бункера, т.е. рассмотрим случай, когда работает питатель с меньшей производительностью ($Q_{n1} < m_Q$).

В этом случае q'_1, q'_2, q'_3, q'_4 принимают значения:

$$q'_1 = m_Q - Q_{n1}; \quad q'_2 = -Q_{n1}; \quad q'_3 = m_Q; \quad q'_4 = 0. \quad (3)$$

При этом начальные условия для системы уравнений (2) принимают вид: при $m = 0$ $\theta'_1 = \theta'_2 = \theta'_3 = \theta'_4 = 0$.

Предположим, что когда количество груза в бункере достигает значения V_{32} , питатель переключается на меньшую производительность Q_{n1} . При этом надбункерная конвейерная линия работает с простоями, а подбункерная – без простоев, т.е. $\lambda_1 \neq 0$, $\mu_1 \neq 0$, $\lambda_2 = 0$, $\mu_2 = 0$. Тогда система уравнений (2) с учетом (3) примет вид:

$$\begin{cases} q''_1 \frac{d\theta''_1}{dm} = 1 - \lambda_1 \theta''_1 + \lambda_1 \theta''_2, \\ q''_2 \frac{d\theta''_2}{dm} = 1 + \mu_1 \theta''_1 - \mu_1 \theta''_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $q''_1 = m_Q - Q_{n1}$; $q''_2 = -Q_{n1}$; θ''_1 – среднее время, за которое количество груза в бункере впервые достигает значения m при условии, что в начальный момент времени надбункерная конвейерная линия работает; θ''_2 – среднее время, за которое количество груза в бункере впервые достигает значения m при условии, что в начальный момент времени надбункерная конвейерная линия не работает.

При этом начальные условия имеют вид: при $m=0$ $\theta''_1 = \theta''_2 = 0$.

Решая систему уравнений (4) при начальных условиях, пренебрегая экспонентой как и в работе [1], получим

$$\theta''_1 = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{Q_{n1} m_Q}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})^2}; \quad (5)$$

$$\theta''_2 = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})} - \frac{\mu_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{m_Q (Q_n - m_Q)}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})^2}. \quad (6)$$

Среднее значение времени загрузки бункера при любом начальном состоянии надбункерной конвейерной линии определяется по формуле [2]

$$\theta''_c = \theta''_1 \cdot P_1 + \theta''_2 \cdot P_2, \quad (7)$$

где $P_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1}$; $P_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1}$.

Здесь P_1 – вероятность работы надбункерной конвейерной линии; P_2 – вероятность простоя надбункерной конвейерной линии.

Подставляя (5) и (6) в (7), после преобразования получим среднее время загрузки бункера при постоянно работающей подбункерной конвейерной линии:

$$\theta_c'' = \frac{\rho(V_{32} - V_{31})}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{\bar{m}_Q^2}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})^2}. \quad (8)$$

Время загрузки бункера при условии, что надбункерная и подбункерная конвейерные линии работают с простоями, то есть $\lambda_1 \neq 0$, $\mu_1 \neq 0$, $\lambda_2 \neq 0$, $\mu_2 \neq 0$, определяется так же, как и в [1], по формуле

$$t_3' = \frac{\rho(V_{32} - V_{31}')}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{\bar{m}_Q^2}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})^2}. \quad (9)$$

В формуле (9) V_{31}' – дополнительный объем груза в бункере в случае, если бы подбункерная конвейерная линия работала без простоев, который определяется по формуле

$$V_{31}' = V_{31} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_{n1}}{\rho} t_3'. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получим уравнение относительно t_3' :

$$t_3' = \frac{\rho(V_{32} - V_{31}')}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_{n1}}{\rho} \frac{t_3'}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{\bar{m}_Q^2}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})^2}.$$

Решая последнее уравнение относительно t_3' , определим время загрузки бункера при работе питателя с меньшей производительностью Q_{n1} по формуле

$$t_3' = \frac{\rho(V_{32} - V_{31})}{(\bar{m}_Q - \bar{Q}_{n1})} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{\bar{m}_Q^2}{(\bar{m}_Q - Q_{n1})(\bar{m}_Q - \bar{Q}_{n1})}. \quad (11)$$

Рассмотрим процесс разгрузки бункера, т.е. рассмотрим случай, когда работает питатель с большей производительностью ($m_Q < Q_{n2}$).

В этом случае при работе питателя с большей производительностью Q_{n2} время разгрузки бункера, аналогично как для бункера с однокоростным питателем [1], определяется по формуле

$$t'_p = \frac{\rho(V_{32} - V_{31})}{(\bar{Q}_{n2} - \bar{m}_Q)} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{Q_{n2}\bar{m}_Q}{(Q_{n2} - \bar{m}_Q)(\bar{Q}_{n2} - \bar{m}_Q)}. \quad (12)$$

Подставим в равенство (1) вместо $\bar{Q}_{n1}$, $\bar{Q}_{n2}$ значения Q_{n1} , Q_{n2} , вместо V_{31} значение V'_{31} , определенное по формуле (10), а вместо V_{32} значение V'_{32} , определенное аналогично по формуле

$$V'_{32} = V_{32} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_{n2}}{\rho} t'_p. \quad (13)$$

В результате средний объем груза в аккумулирующем бункере в случае поддержания заданного уровня груза в нем с помощью двух-скоростного питателя аналогично предыдущему определяется по формуле

$$V_c = \frac{V'_{31}t'_3 + V'_{32}t'_p}{t'_3 + t'_p} + \frac{(\bar{m}_Q - Q_{n1}) \cdot t'^2_3 - (Q_{n2} - \bar{m}_Q)t'^2_p}{2\rho(t'_3 + t'_p)}. \quad (14)$$

Подставляя в равенство (14) значения V'_{31} , V'_{32} , после преобразования окончательно получим средний объем груза в аккумулирующем бункере в случае двухскоростного питателя в виде:

$$V_c = \frac{V_{31}t'_3 + V_{32}t'_p}{t'_3 + t'_p} + \frac{(\bar{m}_Q - Q_{n1}) \cdot t'^2_3 - (Q_{n2} - \bar{m}_Q)t'^2_p}{2\rho(t'_3 + t'_p)} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_{n1}}{\rho} \cdot \frac{t'^2_3}{t'_3 + t'_p} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_{n2}}{\rho} \cdot \frac{t'^2_p}{t'_3 + t'_p}. \quad (15)$$

Здесь время загрузки t'_3 определяется по формуле (11), а время разгрузки t'_p – по формуле (12).

Положим в формулах (11), (12) и (15) $Q_{n1} = 0$. Получим средний объем груза в аккумулирующем бункере, работающем в режиме поддержания заданного объема груза в нем, в случае включения/выключения питателя и с постоянной его производительностью, определяемый по формуле

$$V_c = \frac{V_{31}t_3 + V_{32}t_p}{t_3 + t_p} + \frac{\bar{m}_Q \cdot t^2_3 - (Q_{n2} - \bar{m}_Q)t^2_p}{2\rho(t_3 + t_p)} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_{n2}}{\rho} \cdot \frac{t^2_p}{t_3 + t_p}, \quad (16)$$

где

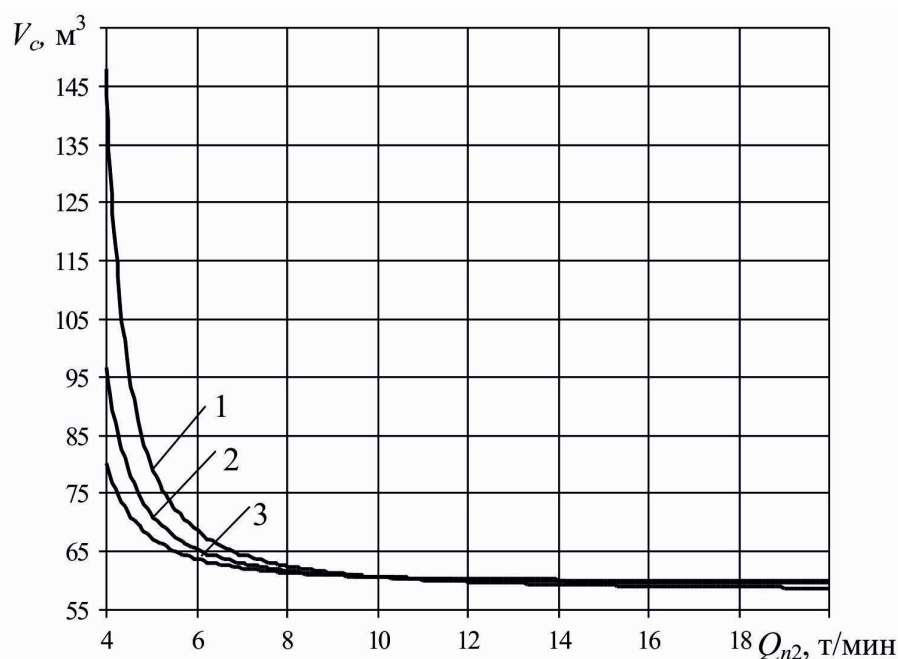
$$t_3 = \frac{\rho(V_{32} - V_{31})}{\bar{m}_Q} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1};$$

$$t_p = \frac{\rho(V_{32} - V_{31})}{(\bar{Q}_{n2} - \bar{m}_Q)} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{Q_{n2}\bar{m}_Q}{(Q_{n2} - \bar{m}_Q)(\bar{Q}_{n2} - \bar{m}_Q)}.$$

Формула (16) совпадает с формулой, полученной в работе [1] для случая односкоростного питателя.

На основании полученных математических моделей функционирования аккумулирующего бункера в случае одной и двух скоростей питателя исследованы зависимости среднего объема груза аккумулирующего бункера от производительности питателей и параметров потока отказов надбункерной конвейерной линии.

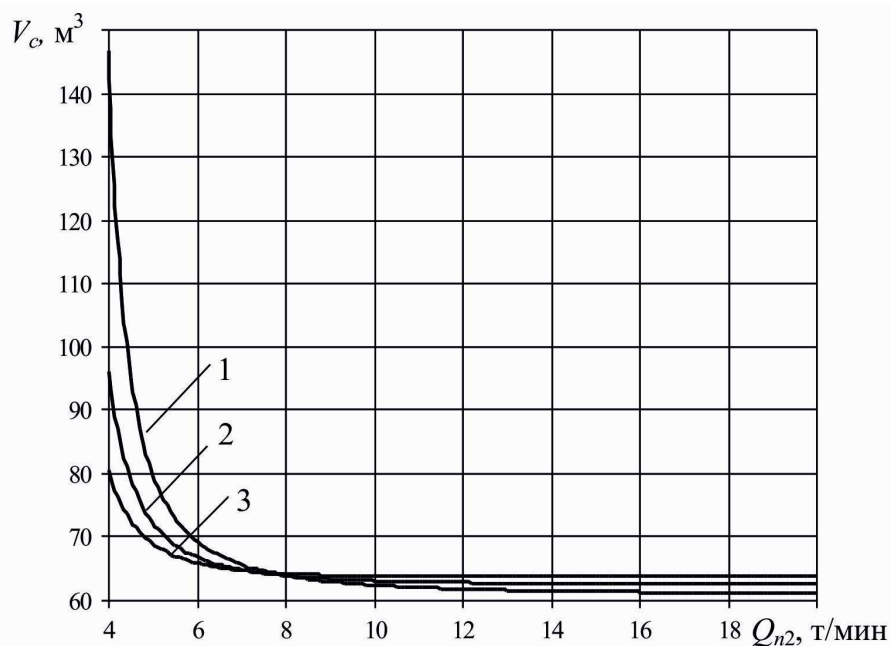
На рисунках 2–4 показаны графики зависимости среднего объема груза в аккумулирующем бункере в случае двухскоростного питателя от производительности большей скорости питателя при различных значениях параметров потока отказов надбункерной конвейерной линии $\lambda_1 = 0,02; 0,03; 0,04 \text{ мин}^{-1}$ при различных меньших скоростях питателя $Q_{n1} = 0,1; 0,5; 1,0 \text{ т/мин}$. При этом исходные данные принимали значения: $m_Q = 3,7 \text{ т/ч}$; $V_{31} = 4 \text{ м}^3$; $V_{32} = 100 \text{ м}^3$; $\mu_1 = 0,06139 \text{ мин}^{-1}$; $\lambda_2 = 0,017 \text{ мин}^{-1}$; $\mu_2 = 0,069 \text{ мин}^{-1}$.



1 – $\lambda_1 = 0,02 \text{ мин}^{-1}$; 2 – $\lambda_1 = 0,03 \text{ мин}^{-1}$; 3 – $\lambda_1 = 0,04 \text{ мин}^{-1}$

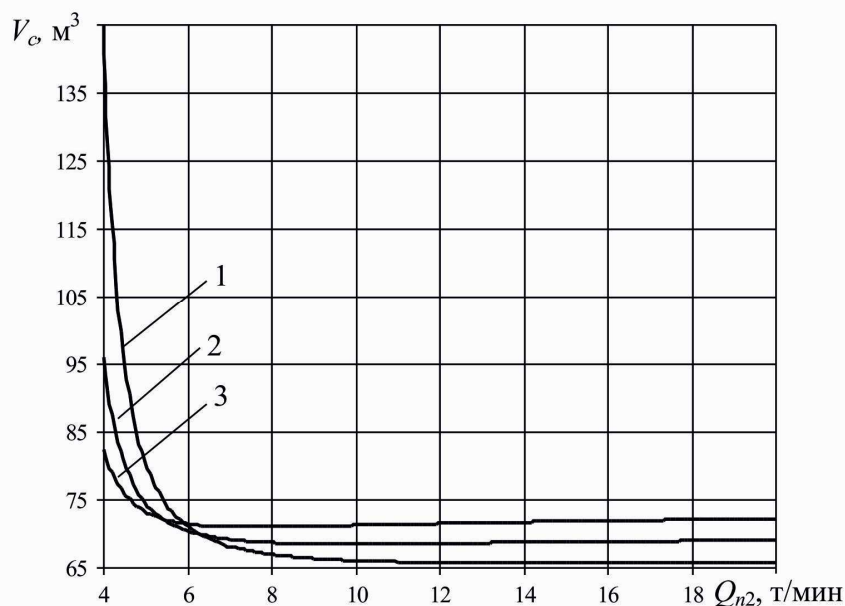
Рисунок 2 - Зависимости среднего объема груза в аккумулирующем бункере в случае двухскоростного питателя от производительности большей скорости питателя Q_{n2} при меньшей скорости питателя

$Q_{n1} = 0,1 \text{ т/мин}$



1 – $\lambda_1 = 0,02 \text{ мин}^{-1}$; 2 – $\lambda_1 = 0,03 \text{ мин}^{-1}$; 3 – $\lambda_1 = 0,04 \text{ мин}^{-1}$

Рисунок 3 - Зависимости среднего объема груза в аккумулирующем бункере в случае двухскоростного питателя от производительности большей скорости питателя Q_{n2} при меньшей скорости питателя $Q_{n1} = 0,5 \text{ т/мин}$



1 – $\lambda_1 = 0,02 \text{ мин}^{-1}$; 2 – $\lambda_1 = 0,03 \text{ мин}^{-1}$; 3 – $\lambda_1 = 0,04 \text{ мин}^{-1}$

Рисунок 4 - Зависимости среднего объема груза в аккумулирующем бункере в случае двухскоростного питателя от производительности большей скорости питателя Q_{n2} при меньшей скорости питателя $Q_{n1} = 1,0 \text{ т/мин}$

Из рисунков 2–4 видно, что с увеличением большей скорости питателя (производительности) Q_{n2} средний объем груза в аккумуляирующем бункере уменьшается и при увеличении производительности питателя до бесконечности, то есть $Q_{n2} \rightarrow \infty$, принимает постоянное значение. При этом средний объем груза в бункере стремится к величине, близкой к полусумме максимального и минимального объемов груза в бункере.

Кроме того, как и в предыдущем случае, при увеличении параметра потока отказов надбункерной конвейерной линии λ_1 средний объем груза в бункере V_c уменьшается, а с увеличением меньшей скорости (производительности) питателя Q_{n1} средний объем груза в бункере уменьшается.

Следовательно, на основании теории кусочно-марковских процессов разработана математическая модель функционирования аккумуляирующего бункера, работающего в режиме поддержания заданного объема груза в нем, при двухскоростном питателе.

В результате исследований установлено, что при функционировании аккумуляирующего бункера, работающего в системе конвейерного транспорта, в случае двухскоростного питателей с увеличением производительности питателя, имеющего большую скорость Q_{n2} , средний объем груза в бункере V_c уменьшается и при больших значениях Q_{n2} асимптотически стремится к минимальному постоянному значению, зависящему от средней величины грузопотока m_Q , поступающего в бункер, и производительности питателя Q_{n1} , имеющего меньшую скорость.

Кроме того, в этом случае при увеличении параметра потока отказов надбункерной конвейерной линии λ_1 средний объем груза в бункере V_c уменьшается.

Полученные результаты исследований с достаточной точностью совпадают с результатами имитационного моделирования [1, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирия Р. В. Математическая модель функционирования аккумуляирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Наукові вісті «Сучасні проблеми металургії». – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. – № 15. – С. 85–96.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: КНОРУС, 2010. – 480 с.
3. Кирия Р. В. Имитационные модели функционирования усредняющих и аккумуляирующих бункеров конвейерных линий угольных шахт / Р. В. Кирия, Д. Д. Брагинец, Т. Ф. Мищенко // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. – 2008. – № 77. – С. 100–109.

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕЗУ
ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ
ТА МЕТОДУ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗБИТТЯ МНОЖИН
В ЗАДАЧАХ РОЗМІЩЕННЯ-РОЗПОДІЛУ**

Анотація. У статті розглянуто багатоступеневу задачу розміщення виробництва. Представлено підхід до розв'язування багатоступеневі задачі розміщення-розподілу, заснований на використанні генетичного алгоритму та методу оптимального розбиття континуальних множин (ОРМ). Обґрунтовано використання генетичних алгоритмів для такого роду задач. Представлений алгоритм апробовано на модельній задачі.

Ключові слова: оптимальне розміщення підприємств, багатоступені задачі розміщення, оптимальне розбиття множин, генетичний алгоритм, оптимізація.

Вступ. Оптимізація процесів руху сировини та готової продукції має важливе значення для великої кількості промислових, комерційних та адміністративних заходів. Мета послуг полягає в максимізації доходів завдяки ефективному обслуговуванню клієнтів. Для досягнення цієї мети часто використовують моделі розміщення-розподілу, що дозволяють визначити які саме логістичні комплекси будуть відкриті, де вони мають бути відкриті, і які для них повинні бути зони обслуговування.

Актуальність. Задачі оптимального розміщення виробництва на заданій території часто виникають при розв'язування широкого кола питань в самих різних областях практичної діяльності. Їх використовують для розташування баз швидкої медичної допомоги, пожежних станцій, шкіл, лікарень, вузлів аеропортів, місць поховання відходів, місць розташування складів – і це лише невелика кількість з численних областей, в яких виникає проблема оптимального розміщення об'єктів. Моделі розміщення також знайшли застосування в нетрадиційних сферах, у тому числі медичній діагностиці, маршрутизації транспортних засобів, узгодженні кандидатів та партій і аналізі

археологічних пам'яток. Приклади математичних моделей задач розміщення, методів і алгоритмів їх розв'язування можна знайти в [1,2,3].

Багатоетапна задача розміщення на змістовному рівні формулюється таким чином. Задано множини підприємств і споживачів, яким необхідна їх продукція. Для кожного підприємства задана вартість його відкриття, а для кожного споживача відомо виробничо-транспортні витрати на задоволення його попиту. Потрібно знайти такий набір підприємств, який з мінімальними сумарними витратами дозволив би задовольнити попит усіх споживачів. У випадку існування фіксованих технологічних ланок подібна двоетапна задача розглядалася в роботі [4]. Відмінною особливістю розглянутої нижче задачі є відсутність визначених технологічних ланцюгів і, як наслідок, можливість доставки сировини і продукції з декількох пунктів одночасно.

Основна частина. В даній роботі розглянуто багатоетапну задачу розміщення виробництва, яка формулюється наступним чином: необхідно розмістити виробництво, що включає в себе підприємства I етапу і підприємства II етапу в області, таким чином, щоб сумарні витрати на доставку сировини і продукції були мінімальні. Передбачається, що місця можливого розташування підприємств II етапу, а також місця розташування споживачів заздалегідь відомі, причому будь-яке підприємство I етапу може бути пов'язано з будь-яким підприємством II етапу.

Для побудови математичної моделі введемо такі позначення: Ω – область, в якій розміщуються підприємства; N – кількість можливих місць розміщення підприємств I етапу; M – кількість можливих місць розміщення підприємств II етапу; M_1 – кількість місць розміщення підприємств II етапу; K – множина споживачів; c_{ij}^I – вартість доставки одиниці сировини від i -го підприємства I етапу до j -го підприємства II етапу; c_{jk}^{II} – вартість доставки від j -го підприємства II етапу до k -го споживача; b_k – попит k -го споживача; v_{ij}^I – обсяг продукції, що доставляється від i -го підприємства I етапу до j -го підприємства II етапу; v_{jk}^{II} – обсяг продукції, що доставляється від j -го підприємства II етапу k -му споживачеві.

Тоді математична модель може бути записана у вигляді:
Мінімізувати

$$F(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \{\tau_1^I, \dots, \tau_N^I\}, \{v_{11}^{II}, \dots, v_{NM}^{II}\}, \{v_{11}^{III}, \dots, v_{MK}^{III}\}) = \\ = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} c_i^I(x, \tau_i^I) \rho(x) dx + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_1} c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) v_{ij}^{II} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M_1} c_{jk}^{III} v_{jk}^{III}$$

При обмеженнях

$$\int_{\Omega_i} \rho(x) dx \geq b_i^I, \quad i=1, 2, \dots, N; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^M v_{ij}^{II} = \int_{\Omega_i} \rho(x) dx \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N v_{ij}^{II} \geq b_j^{II} \lambda_j, \quad \sum_{j=1}^{M_1} \lambda_j = M, \quad \lambda_j \in \{0; 1\}, \quad j=1, 2, \dots, M_1; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{M_1} v_{jk}^{III} \geq b_k, \quad k=1, 2, \dots, K; \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K v_{jk}^{III} \leq b_j^{II} \lambda_j, \quad j=1, 2, \dots, M_1; \quad (5)$$

$$v_{ij}^{II} \geq 0, \quad v_{jk}^{III} \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad j=1, 2, \dots, M_1, \quad k=1, 2, \dots, K; \quad (6)$$

$$\tau^I = (\tau_1^I, \tau_2^I, \dots, \tau_N^I), \quad \tau^I \in \Omega^N, \quad \bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega, \quad \Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset, \quad i \neq j. \quad (7)$$

Тут обмеження (1) означає, що сумарні запаси ресурсу в зоні обслуговування i -го підприємства I етапу не менше виробничої потужності цього підприємства; (2) – кількість продукту, вивезеного з i -го підприємства I етапу не більше виробничої потужності цього підприємства; (3) – кількість продукту, доставленого j -му підприємству II етапу не менше виробничої потужності цього підприємства; (4) – попит всіх споживачів повинен бути задоволений; (5) – кількість продукту, доставленого k -му споживачеві не менше виробничої потужності підприємства II етапу; (6) – обмеження на об'єм поставки. Крім того зони обслуговування підприємств I етапу покривають всю область Ω , а кожна точка області обслуговується лише одним підприємством I етапу (7).

Відмінною рисою такої задачі є те, що підприємства I етапу можуть бути розташовані в будь-якій точці області та, одночасно з тим, для кожного з них визначається зона обслуговування. Зрозуміло, що при її розв'язуванні виникають певні складнощі. По-перше, наявність зв'язків між етапами не дозволяє повністю розділити зада-

чу на дві окремі, більш прості підзадачі. По-друге, незважаючи на визначеність можливих місць розташування для підприємств II етапу, зрозуміло, що будь-яка дискретизація задачі, хоч і полегшує подальше її розв'язування з одного боку, з іншого – погіршує отриманий розв'язок за рахунок втрати частини даних. Тому, для розв'язування багатоетапної задачі розміщення було запропоновано алгоритм, відмінною рисою якого є використання синтезу генетичного алгоритму та методу ОРМ [2], який в свою чергу включає г-алгоритм Н.З.Шора. Таким чином, для розташування підприємств I етапу використовується метод ОРМ, який вже зарекомендував себе. А для розташування підприємств II етапу в свою чергу, використовується генетичний алгоритм, що з одного боку дає досить задовільний розв'язок для задачі невеликої розмірності, а з іншого боку дає можливість розширювати розміри задачі до значних розмірів. Крім того генетичний алгоритм, на відміну від більшості класичних методів оптимізації, не має якихось значних вимог щодо виду цільового функціоналу, випуклості тощо, що значно спрощує задачу. Більш того, даний алгоритм, дозволяє працювати навіть на неперервних множинах, що, безсумнівно, дуже важливо для задач такого роду.

У загальному вигляді застосовуваний алгоритм можна описати наступним чином: спочатку, за допомогою генетичного алгоритму визначаються місця розміщення підприємств II етапу. В якості внутрішньої задачі при цьому виступає задача ОРМ з додатковими зв'язками [5], з припущенням, що розміщення підприємств II етапу відомо. Після цього розраховується значення цільового функціонала. Дані дії повторюються до тих пір, поки не буде досягнутий критерій закінчення процесу, в якості якого можуть бути прийняті, наприклад, час роботи алгоритму або збіжність популяції.

Запропонований алгоритм був чисельно реалізований і апробований, крім того, було проведено дослідження налаштувань параметрів генетичного алгоритму. В результаті чого, можна зробити висновок, що для розв'язування двохетапної задачі розміщення виробництва при виборі параметрів генетичного алгоритму, згідно з нашими дослідженнями найбільш раціональними будуть наступні параметри: розмір популяції – від 600 особин, ймовірність мутації – 10%, рівень мутації – 40-50%.

Розглянемо роботу алгоритму на прикладі такої модельної задачі: нехай споживач деякої продукції знаходиться в області. Координати розташування споживачів відомі. Виробництво продукції здійснюється в два етапи. Експертами визначено можливі місця розміщення підприємств II етапу. Відомі також потужності підприємств кожного етапу і попит споживачів. Необхідно розмістити 6 підприємств I етапу та 3 підприємства II етапу з урахуванням розташування 6 споживачів і визначити обсяги перевезень продукції на кожному з етапів таким чином, щоб мінімізувати функціонал сумарних витрат на виробництво продукції та доставку її споживачам.

Результати роботи алгоритму представлено на рис. 1, 2 та табл. 1. На рис. 1 показано отримані в результаті розв'язування задачі місця розташування підприємств I етапу та зони обслуговування для кожного них. Рис. 2 ілюструє отримані ланцюги перевезень і розміщення підприємств II етапу. Тут зірочками позначено місця розміщення підприємств I етапу, колами – місця розміщення підприємств II етапу, квадратами – місця розташування споживачів.

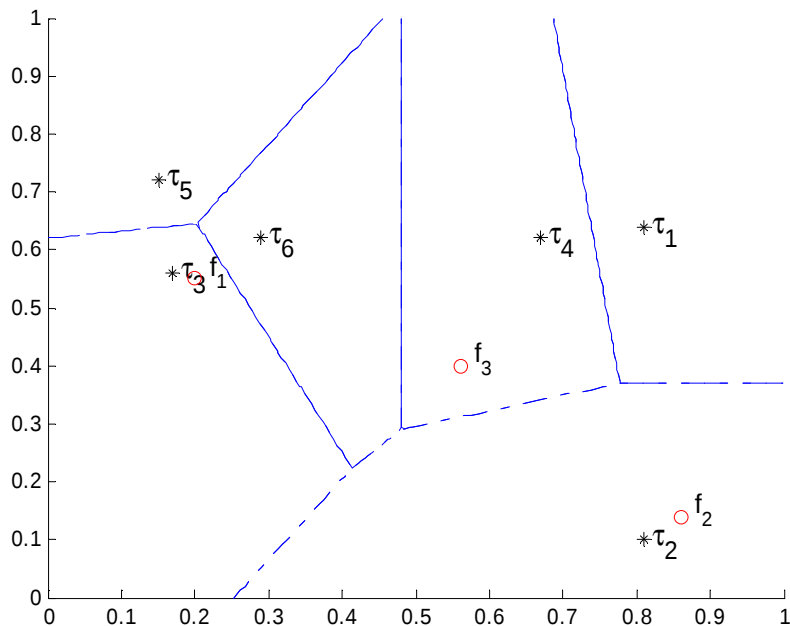


Рисунок 1 – Визначення зон обслуговування

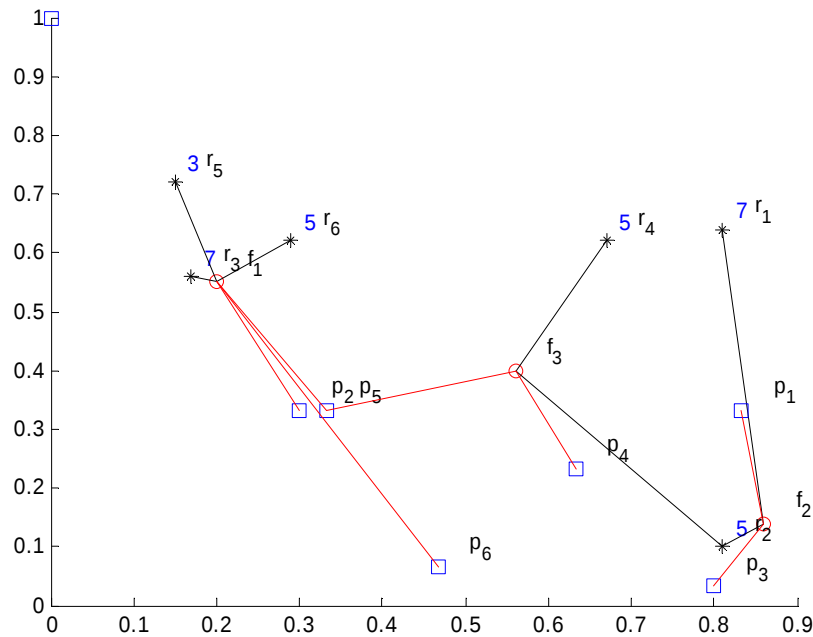


Рисунок 2 – Визначення ланцюгів поставок

У таблиці 1 представлено об'єми перевезень для кожного з підприємств на кожному з етапів.

Таблиця 1

Об'єми перевозок

Обсяг перевезень I етапу						Підприємства II етапу	Обсяг перевезень II етапу					
Підприємства I етапу							Споживачі					
0	0,01	0,08	0	0,14	0,17		0	0,25	0	0	0,05	0,1
0,18	0,12	0	0	0	0		0,15	0	0,15	0	0	0
0	0,01	0	0,29	0	0		0	0	0	0,15	0,15	0

Висновки. Багатоетапні задачі розміщення-розподілу є актуальними, оскільки відкривають можливість для розвитку нових методів моделювання, інноваційних алгоритмів і цікавих додатків. В даній роботі представлено математичну модель багатоетапної задачі розміщення-розподілу та описано алгоритм її розв'язування, заснований на генетичному алгоритмі та методі оптимального розбиття множин. Проведені чисельні експерименти дозволяють говорити про можливість застосування запропонованого алгоритму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Farahani R. Z. Facility location. Concepts, models, algorithms and case studies. Springer – Verlag / R.Z. Farahani, M. Hekmatfar (eds.). – Berlin : Heidelberg, 2009. – 530 p
2. Киселева Е. М. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы, приложения: монография / Е. М. Киселева, Н. З. Шор. – К. : Наук. думка, 2005. – 564 с.
3. Drezner, Z., Facility Location: Application and Theory. Berlin: Springer / Z. Drezner, H. W. Hamacher (eds.). – Berlin : Springer, 2001. – 460 p.
4. Гимади Э. Х, Эффективный алгоритм для решения многоэтапных задачи размещения на цепи // Дискретный анализ и исследование операций. ИМ СО РАН, Новосибирск. 1995. Том 2, с. 13-31
5. Ус С.А., Станина О.Д. Задача оптимального разбиения множеств с дополнительными связями // X міжнародна науково-практична конференція «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2014)» 19–21 листопада 2014 р. Тези доповідей. Дніпропетровськ, Україна, с. 236-237

СОДЕРЖАНИЕ

Морозенко О.П., Вишневський І.В.

Дослідження зміни форми лінії перетину циліндра площиною при розгортанні..... 3

Хрестин Р.Н.

Дуговая сталеплавильная печь как объект управления 10

SHYNKARENKO V.I., VASETSKA T.M., BOIKO E.Y.

Reducing the number of expert judgments in analytic hierarchy process by sorting and survey management 16

Балакин В.Ф., Байрымов А.А

Залечивание дефектов стальной катанки в процессе РКУП методом Conform 32

Коломиец Р.В., Грушко В.А., Кириченко А.О., Кузьменко Н.П.

Горизонтальное продвижение материала в камере аэрофонтанной сушилки 37

Петров А.Ф., Кукса О.В., Головкин Л.А., Греков С.В.

Прогнозирование физико-химических и теплофизических свойств борсодержащих ферросплавов 44

Тогобицкая Д.Н., Пиптюк В.П., Логозинский И.Н., Левин Б.А., Яковицкий А.В., Козачёк А.С., Кукса О.В.

Исследование элементного влияния состава стали 30ХГСА на формирование механических свойств металлопродукции для условий ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ» 50

Guda A.I., Mikhalyov A.I.

Multi-model methods and parameters estimation approaches on non-linear dynamic system identification 57

Гнатущенко В.В., Владимирська Н.О.

Імітаційне моделювання багатоадресної передачі даних із застосуванням апарату нечіткої логіки 63

Дубовик Т.Н., Алпатова И.А.

Когнитивные модели с параметрической адаптацией к характеристикам личности. Методический аспект. Часть 2 70

Мазуренко В.Б.

Эффективность применения информационно-измерительной технологии на основе дискретного фильтра Калмана в процессе дозирования баков качающейся ракеты 79

Островська К.Ю., Островський С.В., Волков С.В.

Розробка алгоритму асинхронної реплікації для побудови РБД з заданою топологією 87

Астахов Д.С.

Фильтрация сильно зашумленных сигналов при помощи вейвлет-преобразования 92

Василів С.С.

Комп'ютерне моделювання при розробці стендового випробувального комплексу детонаційних ракетних двигунів 100

Кирия Р.В., Мищенко Т.Ф., Бабенко Ю.В.

Математическая модель функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания заданного объема груза в случае двухскоростного питателя 106

Станіна О.Д.

Перспективи використання синтезу генетичного алгоритму та методу оптимального розбиття множин в задачах розміщення-розподілу .. 116

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.778.24:620.178.74

Морозенко Е.П. **Исследование изменения формы линии пересечения цилиндра плоскостью при разворачивании**/ Е.П. Морозенко, И.В. Вишневский // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.3 - 9.

В статье проанализировано изменение формы линии пересечения прямого кругового цилиндра плоскостью при разворачивании. Разработана методика и приведены результаты расчетов параметров скручивания и изгиба. Определена зависимость величины изгиба и интенсивности скручивания в данной точке линии пересечения от положения касательной относительно мгновенной оси развертки.

Библ. 3, ил. 4.

УДК 681.5: 621.316.7

Хрестін Р.М. **Дугова сталеплавильна піч як об'єкт управління** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.10 - 15.

Проаналізовано поведінку повної моделі дугової сталеплавильної печі в якості об'єкта управління. Модель може бути використана для побудови моделей приводу переміщення електродів і створення системи автоматичного управління цим приводом. Побудована модель системи управління, заснована на простому автоматичному ПІ-регуляторі. Аналіз отриманої системи управління показав, що використання найпростішого регулятора не забезпечує якісного управління. Тому потрібна розробка більш досконалого регулятора.

Библ.5, ил.5.

УДК 004.02, 004.8, 004.9; 519.6

Шинкаренко В. І., Васецька Т. М., Бойко Є. Ю. **Зменшення кількості експертних оцінок методу аналізу ієрархій засобами сортування та керування опитуванням** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.16 - 31.

Розглянуто деякі проблеми, пов'язані з використанням методу аналізу ієрархій та можливі шляхи їх розв'язку. Запропоновано ще одну модифікацію класичного методу аналізу ієрархій з елементами сортування для ранжування великої кількості альтернатив в задачах багатокритеріального вибору. Описано програмну реалізацію запропонованої модифікації. Розроблена система дозволяє суттєво зменшити роботу експерта при оцінюванні великої кількості альтернатив, а також зменшити кількість випадків неузгоджених оцінок. Розглянуто шляхи досягнення найкращої узгодженості матриць парних порівнянь альтернатив.

Бібл. 14, іл. 3, табл 13.

УДК 621.778.04

Балакін В.Ф., Байримов А.А. **Заліковування дефектів сталевій катанки в процесі РКУП методом Конформ** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.32 - 36.

До 10% всієї катанки, виробленої в Україні має підвищений діапазон (в порівнянні з ГОСТ 2770) варіювання геометричних і механічних характеристик, що перешкоджає її подальшому використанню. У даній роботі вирішується завдання моделювання процесу рівноканального кутового пресування дефектної катанки з метою визначення можливого заліковування дефектів. Передбачається, що використання інтенсивної пластичної деформації в процесі РКУП і методу Конформ дозволить отримувати готову катанку з механічними характеристиками відповідними ГОСТ 2770.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 622.73

Коломієць Р.В., Грушко В.О., Кириченко О.О., Кузьменко М.П. **Горизонтальне просування матеріалу в камері аерофонтанної сушарки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.37 - 43.

Наведено експериментальні дослідження на випробувальному сушильному стенді «Аерофонтан-СТР» з метою визначення середнього часу і швидкості горизонтального просування сипучого матеріалу в умовах зміни тиска повітряного потоку та кута повороту лопатей решітки сушильній камері. Розроблена методика визначення основних газодинамічних параметрів горизонтального просування матеріалу в процесі сушіння у киплячому прошарку. Отримані дані можна використовувати для визначення оптимальних режимів роботи аерофонтанної сушарки.

Бібл. 5, іл. 5, табл. 3.

УДК 669.18.046.58.001.57:669.18.001.18

Петров А.Ф., Кукса О.В., Головкин Л.А., Греков С.В. **Прогнозування фізико-хімічних і теплофізичних властивостей борвмісних феросплавів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.44 - 49.

Автори досліджують можливість використання методики розрахунку параметрів міжатомної взаємодії металевих розплавів і раніше розроблених критеріїв для прогнозування оцінки властивостей борсодержащих феросплавів. За допомогою отриманих рівнянь проведена попередня оцінка фізико-хімічних і теплофізичних властивостей ферробор марки ФБ-20, що використовується на металургійних підприємствах України.

Бібл. 15.

УДК 669.02/09:669.14.018.29.011.5

Тогобицька Д.М., Пиптюк В.П., Логозинський І.Н., Левін Б.А., Яковичський О.В., Козачок О.С., Кукса О.В. **Дослідження елементного впливу складу сталі 30ХГСА на формування механічних властивостей для умов ПАТ «Днепропеталь»** // Системные техно-

логии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.50 – 56.

На прикладі стали марки 30ХГСА показана методика визначення раціонального елементного складу (в межах марки) з використанням параметрів міжатомної взаємодії. Виконано оцінку впливу домішково-мікролегіруючої підсистеми на механічні властивості сталі і внесені відповідні корективи за рахунок елементів матричної підсистем.

Бібл. 3.

УДК 681.5.015

Гуда А.І. **Підвищення якості оцінювання екстремуму в задачах ідентифікації динамічних систем з багатьма моделями** / Гуда А.І., Михальов О.І. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.57 – 62.

У статті запропоновано новий підхід до оцінювання екстремуму в задачі ідентифікації нелінійних динамічних систем. Основний недолік попереднього підходу усунуто. Проведена нова серія чисельного моделювання, що підтверджує переваги нового методу.

Бібл: 3. ілл: 6.

УДК 621.39

Гнатушенко В.В. **Імітаційне моделювання багатоадресної передачі даних із застосуванням апарату нечіткої логіки** / В.В. Гнатушенко, Н.О. Владимирська // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.63 – 69.

Створено імітаційну модель багатоадресної передачі даних для аналізу проходження трафіку та завантаженості мережі з mesh-топологією та розроблено систему нечіткого виведення оцінки якості обслуговування вузлів.

Бібл. 10, іл. 1.

УДК 004.94+001:372.82

Дубовик Т.Н., Алпатова І.А. **Когнітивні моделі з параметричної адаптації до характеристик особистості. Методичний аспект. 2 Частина** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.70 – 78.

Стаття присвячена вирішенню актуального завдання: підвищення якості освіти шляхом створення когнітивної моделі з параметричної адаптацією. Дана модель представлена в формі регресійного рівняння, яке пов'язує між собою показники засвоєння досліджуваного матеріалу з характеристиками особистості Адаптація моделі здійснюється стосовно процесу вивчення навчальних дисциплін, визначених навчальною програмою спеціальності "спеціалізовані комп'ютерні системи". Розроблено алгоритм побудови когнітивних моделей. Зроблено оцінку тривалості збереження знань для різних технологій навчання (з адаптивним тренажером і без тренажера).

Бібл. 4., табл.7.

УДК 681.128+681.518.22

Мазуренко В.Б. **Ефективність застосування інформаційно-виміральної технології на основі дискретного фільтра Калмана в процесі дозування баків ракети, що хитається** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.79 - 86.

Проведено дослідження ефективності застосування інформаційно-виміральної технології на основі дискретного фільтра Калмана для обробки виміральної інформації про рівень палива в баках ракети-носія морського базування. Критерій ефективності базується на значенні складової похибки дозування, пов'язаної з хитанням. Дослідження виконано шляхом комп'ютерного моделювання.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 004.657

Островська К.Ю., Островський Є.В., Волков С.В. **Розробка алгоритму асинхронної реплікації для побудови РБД з заданою топологією** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.87 - 91.

Розглянуто моделі синхронної та асинхронної реплікації розподілених баз даних з заданою топологією. Розроблено алгоритм асинхронної реплікації для побудови РБД з заданою топологією.

Бібл. 2, рис. 3.

УДК 004.94, 004.652.4, 620.192

Астахов Д.С. **Фильтрация сильно зашумленных сигналов при помощи вейвлет-преобразования** / Д.С. Астахов // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.92 - 99.

Експериментально досліджено питання комплексного використання частотної і вейвлет-фільтрації сигналів, отриманих тінювим методом на металевому зразку зі штучним відбивачем, що імітує дефект. Розглянуто здатність методу виділяти періодичну структуру ультразвукових вимірювань. Проведено дослідження співвідношення сигнал-шум за результатами фільтрації.

Бібл. 5, іл. 5.

УДК 629.7.036

Василив С.С. **Компьютерное моделирование при разработке стендового испытательного комплекса детонационных ракетных двигателей** / Д.С. Астахов // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). – Днепропетровск, 2016. – с.100 - 105.

Проведена розробка уніфіцированих елементів стендов для здійснення дослідницьких процесів в детонаційних ракетних двигателях. Изложены основные проектные параметры, позволяющие учесть влияние динамических факторов на точность измерения тяговых характеристик моделей.

Бібл. 6, ил. 6.

УДК 622.647.82:51.001.57

Кирія Р. В. **Математична модель функціонування акумулюючого бункера в режимі підтримки заданого об'єму вантажу у разі двохшвидкісного живильника** / Р. В. Кирія, Т. Ф. Міщенко, Ю. В. Бабенко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). - Днепропетровск, 2016. - с.106 - 115.

На основі кусково-марківських процесів з безперервним часом і дискретним станом розроблено математичну модель функціонування акумулюючих бункерів в режимі підтримки заданого об'єму вантажу в ньому в разі двохшвидкісного живильника. Одержано залежність середнього об'єму вантажу в бункері від продуктивностей живильника. Результати аналітичних досліджень достатньо добре співпадають з результатами імітаційного моделювання.

Бібл. 3, іл. 4.

УДК 519.8

Станіна О.Д. **Перспективи використання синтезу генетичного алгоритму та методу оптимального розбиття множин в задачах розміщення-розподілу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (103). - Днепропетровск, 2016. - с.116 - 122.

У статті розглянуто багатоетапну задачу розміщення виробництва. Представлено підхід до розв'язування багатоетапної задачі розміщення-розподілу, заснований на використанні генетичного алгоритму та методу оптимального розбиття континуальних множин (ОРМ). Обґрунтовано використання генетичних алгоритмів для такого роду задач. Представлений алгоритм апробовано на модельній задачі.

Бібл. 5, іл. 2, табл. 1.

UDC 621.778.24:620.178.74

Morozenko O.P. **Analysis of shape modifier of cylinder intersection under plant change** / O.P. Morozenko, I.V. Vishnevsky // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.3 - 9.

Shape modification of right circular cylinder with the plane under the plane change is analysed in the present article. The methodology and the calculations of twisting and bending parameters are given.

The dependence between bending value and twisting degree at the point of intersection line from tangent line position respectively to an instant development axis is defined.

Bibl.3, dr. 4.

UDC 681.5: 621.316.7

Khrestin R.N. **Electric arc furnace as a control object** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.10 - 15.

Are analyzed action of complete model of the electric arc furnace as a control object. The model can be used as the basis of simulation of regime action drive movement of electrodes and creating a system of automatic control of this drive. A model of a control system based on a simple automatic PI regulator. Analysis of the resulting control systems has shown that using a simple regulator does not provide good control. Therefore, required the development of improved control algorithm.

Ref.5, fig.5.

UDC 004.02, 004.8, 004.9; 519.6

Shynkarenko V.I., Vasetska T.M., Boiko E.Y. **Reducing the number of expert judgments in analytic hierarchy process by sorting and survey management** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.16 - 31.

Some problems associated with AHP using and existing methods of their solving are considered. Modification of the classical method of analytic the hierarchy process with elements of sorting for the ranking a large number of alternatives in multicriterial choice problems was developed. The software implementation of the proposed modification was described. The developed system allows essentially reduce the expert's assessment work of a large number of alternatives, as well as reduce the occurrence of inconsistent judgments. The ways to achieve the best consistency of the matrix of pairwise comparisons of alternatives were proposed.

Ref. 14, ill. 3, tables 13.

UDC 621.778.04

Balakin V.F., Bajrymov A.A. **Healing defects of the steel wire rod in the process of equal channel angular extrusion (ECAE) by means of the Conform method** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.32 - 36.

Till 10% of the whole wire rod produced in Ukraine has the heightened (in comparison with the state standard GOST 2770) range of varying geometric and mechanical characteristics, what prevents it from the following use. In the present work there is the solution of the problem of simulating the process of equal channel angular extrusion of the faulty wire rod

for the purpose of determining the possible healing of defects. It is supposed that the use of intense plastic deformation in the process of ECAP and the Conform method will allow obtaining the finished wire rod with mechanical characteristics true to GOST 2770.

Bibl. 4, pic. 4.

UDK 622.73

Kolomiets R.V., Grushko V.O., Kirichenko A.O., Kuzmenko N.P. **Material horizontal movement in the aero gushing dryer camera** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.37 - 43.

Experimental studies are given on the drying test bench Aerofontan-STR for the purpose of average time and bulk horizontal movement speed determination in the changing conditions of an air stream pressure and directing blades rotation angle of a bottom grate. The determination technique of the main gas dynamics parameters of material horizontal movement while drying in a suspension is developed. The obtained data can be used for definition of optimum operating modes of the aero gushing dryer.

Bibl. 5, il. 5, tb 3.

UDK 669.18.046.58.001.57:669.18.001.18

Petrov A.P., Kuksa O.V., Golovko L.A., Grekov S.V. **Prediction of physicochemical and thermal properties of boron-containing ferroalloys** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.44 - 49.

The authors explore the possibility of using the method for calculating the parameters of interatomic interaction of metal melts and the previously developed criteria for prognostic assessment of properties of boron-containing ferroalloys. With the help of the equations obtained performed a preliminary assessment of the physico-chemical and thermal properties of FB-20 ferroboration, which is used in the ironworks of Ukraine.

Bibl. 15.

UDK 669.02/09:669.14.018.29.011.5

Togobitskaya D.N., Pipyuk V.P., Logozinsky I.N., Levin B.A., Yakovitsky A.V., Kozachek A.S., Kyksa O.V. **Investigation of elemental influence of composition of steel 30XГCA on the formation mechanical properties for conditions PJSC "Dneprospetsstal"** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.50 - 56.

Illustrate a method of determining the rational elemental composition (within the brand) using interatomic interaction parameters on the example of steel 30XГCA.

Has been made the estimation of influence of impurity-microalloying subsystem on the mechanical properties of steel and introduced appropriate corrections due to elements of matrix subsystems.

The composition, properties, interatomic interaction, integral parameters, "narrowed" ranges.

Bibl. 3.

UDC 681.5.015

Guda A.I. **Improving the quality of extremum estimation in problems of dynamic systems identification with a set of models** / Guda A.I., Mikhalyov A.I. // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.57 - 62.

In this article the new approach of the extremum estimation in the non-linear dynamic system identification problem are proposed. Major drawback of the previous approach is fixed. A series on simulations, that justifies new method was held.

Bibl. 3. ill. 6.

UDK 621.39

Hnatushenko V.V. **Simulation modeling multicast data using fuzzy logic** / V.V. Hnatushenko, N.O. Vladimirskaya // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.63 - 69.

A simulation model of the multicast data to analyze traffic and the passage of network traffic with a mesh-topology and developed a system of fuzzy inference assess the quality of service nodes.

Bibl. 10, ill. 1.

UDK 004.94+001:372.82

Dubovik T.N., Alpatov I.A. **Cognitive models parametric adaptation characteristic personality. Methodical aspect. Part 2** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.70 - 78.

Article posvyaschena solutions aktualnoy objectives: Increase quality education putem Establishment kohnnytyvnoy models with parametric adaptation. Dannaya model is presented in the form rehressyonnoho equation, kotoroe svyazывaet Between soboj indicators usvoenyaya yzuchaemoho material with the characteristics of personality Adaptation model osushchestvlyajetsja prymenitelno process for Study uchebnykh disciplines, opredelennykh uchebnoy prohrammoy specialty "Specialized Computer Systems". Is designed algorithm building a kohnnytyvnykh models. Duration Saving Proyzvedena evaluation of knowledge different learning technologies (with and without adaptivnym simulator simulator).

Bibl. 4, tabl. 7.

UDC 681.128+681.518.22

Mazurenko V.B. **The effectiveness of the data processing technology based on the discrete Kalman filter in tanks loading process for a launch vehicle that is swinging** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.79 - 86.

It is provided the study of efficiency of the data processing technology based on the discrete Kalman filtering that is designed for treatment of the measuring information about propellant level in tanks of sea-based launch vehicle. Performance criterion is based on value of the component of dosing inaccuracy that is associated with swinging. A study was carried out by computer simulation.

Ref. 4, fig. 4.

UDC 004.657

Ostrovskaya K.Y., Ostrovsky E.V., Volkov S.V. **Development of synchronous replication algorithm for constructing RBD with a given topology** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.87 - 91.

The models of synchronous and asynchronous replication, distributed database with a given topology. An algorithm for constructing asynchronous replication DDB with a given topology.

Bibl. 2, fig. 3.

UDC004.94, 004.652.4, 620.192

Astahov D.S. **Filtering strongly noisy signals using wavelet transform**/ D.S. Astahov // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.92 - 99.

Experimentally investigated the issue of complex use of the frequency and wavelet filtering signals received by the shadow on the metal sample with artificial reflector, simulating a defect. We consider the ability of a method to allocate an array of ultrasonic measurements. The study of signal-to-noise ratio as a result of filtering.

Bibl. 5, ill. 5.

UDK 629.7.036

Vasylyv S.S. **Computer modeling for the test bench complex design of detonation rocket engines** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.100 - 105.

A unified bench elements has been designed for research of processes in detonation rocket engines. The basic design parameters allowing the consideration of the dynamic factor influence on the measurement accuracy of traction model characteristics is shown.

Bibl. 6, il. 6.

UDK 622.647.82:51.001.57

Kiriya R. **Mathematical model of functioning of accumulative hopper in the mode of set cargo volume in the case of two-speed batcher** / R. Kiriya, T. Mishenko, Yu. Babenko // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.106 - 115.

On the basis of partly Markovian processes with continuous time and discrete state we developed mathematical model of functioning of accumulative hopper in the mode of set cargo volume in the case of two-speed batcher. We obtained dependence of middle value of cargo volume in a hopper bunker from a batchers productivities. The results of analytical researches coincide well enough with the results of simulation.

Refs. 3, ill. 4.

UDC 519.8

Stanina O. D. **Prospects for the use of the genetic algorithm and method of the optimal partitioning of sets in location-allocation problems** // System technologies. N 2(103) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.116 - 122.

The article describes a multi-stage location problem. The approach to a solution of multi-stage location-allocation problem based on the use genetic algorithms and optimal partition of set has been formed. Proved the use of genetic algorithms for such problems. The algorithm is tested on the model problem.

Bibl. 5, ill. 2, tab. 1

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Морозенко Олена Петрівна - к.т.н., доц. Завідувач кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки, НМетАУ.

Вишневський Ігор Володимирович - старший викладач кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки НМетАУ.

Хрестін Роман Миколайович – аспірант, Запорізька державна інженерна академія.

Шинкаренко Віктор Іванович – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Комп’ютерні інформаційні технології» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім.академіка В. Лазаряна.

Васецька Тетяна Миколаївна – асистент кафедри «Комп’ютерні інформаційні технології» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна.

Бойко Євген Юрійович – асистент кафедри «Комп’ютерні інформаційні технології» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна.

Балакин Валерий Федорович – д.т.н., професор, зав. кафедри технологического проектирования НМетАУ.

Байрымов Антон Александрович - аспирант кафедры технологического проектирования НМетАУ.

Коломиец Руслан Владимирович – аспирант Института технической механики НАН и НКА Украины.

Грушко Валентин Алексеевич – ведущий инженер Института технической механики НАН и НКА Украины.

Кириченко Александр Олегович – младший научный сотрудник Института технической механики НАН и НКА Украины.

Кузьменко Николай Петрович – младший научный сотрудник Института технической механики НАН и НКА Украины.

Петров Александр Филипович - старший научный сотрудник Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Кукса Олег Владимирович - к.т.н., старший научный сотрудник Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Головка Людмила Андреевна - к.х.н., младший научный сотрудник Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Греков Станислав Викторович - младший научный сотрудник Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Тогобицкая Дарья Николаевна - д.т.н., профессор, старший научный сотрудник, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Пиптюк Виталий Петрович - к.т.н., старший научный сотрудник, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Козачёк Александра Сергеевна - младший научный сотрудник, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Логозинский Игорь Николаевич - к.т.н., Заместитель технического директора по технологии, Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А.Н. Кузьмина.

Левин Борис Арнович - Начальник технического отдела, Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А.Н. Кузьмина.

Яковицкий Алексей Вячеславович - Начальник технического отдела, Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А.Н. Кузьмина.

Кукса Олег Владимирович - к.т.н., научный сотрудник, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Гуда Антон Ігорович – к.т.н, доц. каф ІТС, НМетАУ.

Михальов Олександр Ілліч – д.т.н, проф., зав. каф. ІТС, НМетАУ.

Владимирська Наталія Олександрівна – аспірантка кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – к.т.н., доцент, докторант кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Дубовик Т.Н. - старший преподаватель кафедры специализированных компьютерных систем, ГВУЗ "УДХТУ", г. Днепропетровск.

Алпатова И.А. - врач, городская больница № 17, г. Днепропетровск.

Мазуренко Валерий Борисович - Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, физико-технический факультет, кафедра радиоэлектронной автоматики, старший преподаватель.

Островська К.Ю. - к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Островський Є.В. – аспірант Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Волков С.В. - магістр кафедри Інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Астахов Дмитрий Сергеевич – старший преподаватель кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университете им. Олеся Гончара.

Василив Степан Степанович – аспірант Інститута технічної механіки НАНУ і ГКАУ.

Кирия Руслан Виссарионович - к.т.н., ст. научн. сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Мищенко Тамара Федоровна - главный технолог, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Бабенко Юлия Васильевна – к.т.н., асистент Національна металургіческа академія України.

Станіна Ольга Дмитрівна – асистент, ДВНЗ «Український хіміко-технологічний університет».